VERSTANDLICHE WISSENSCHAFT

p. 152
p. 182.

Verständliche Wissenschaft

Dritter Band

Einführung in die Wissenschaft vom Leben

oder

Ascaris

Von

Richard Goldschmidt

Zwei Teile

Berlin · Verlag von Julius Springer · 1927

Einführung in die Wissenschaft vom Leben

oder

Ascaris

Von

Professor Dr. Richard Goldschmidt
Berlin-Dahlem

4. bis 8. Tausend

Mit 161 Abbildungen

Erster Teil

Berlin · Verlag von Julius Springer · 1927

Alle Rechte, insbesondere das der Übersetzung
in fremde Sprachen, vorbehalten.
Copyright 1927 by Julius Springer in Berlin.

Druck der Spamerschen Buchdruckerei in Leipzig

Meinen lieben Kindern

Digitized by the Internet Archive
in 2026

https://archive.org/details/einfuhrungindiew0000drri

Inhaltsverzeichnis.

Seite

Erster Abschnitt: Form, Farbe, Anpassung 1

Einleitung. Schmarotzertum. Einseitige Anpassung. Fermente und Gegenfermente. Form- und Farbanpassung; Tiefseetiere und leuchtende Lebewesen. Die Lehre Darwins.

Zweiter Abschnitt: Leben und Zweckmäßigkeit . . 21

Folgt das Leben den Gesetzen der unbelebten Natur? Lösungsversuche. Zelliger Bau und Körpergröße. Die Form der Lebewesen und ihre Zweckmäßigkeit. Zweckmäßige Antworten des Körpers auf Eingriffe. Ausmerzung von Unzweckmäßigem. Körperfarbe, Farbzellen, Farbwechsel, schützende Ähnlichkeit. Lebewesen der Korallenriffe.

Dritter Abschnitt: Haut, Atmung 50

Bakterien und Freßzellen. Wiederersatz verlorener Teile. Wundheilung und Überpflanzung von Körperteilen. Die Haut als Atemorgan. Das Wesen der Atmung. Lungen und Kiemen. Das Blutgefäßsystem. Atmung ohne Sauerstoff. Die Gärung. Bau der Haut. Schuppen, Federn, Haare, Panzer.

Vierter Abschnitt: Lymphe, Muskeln, Bewegung . . 76

Überempfindlichkeit, Immunität, Impfung. Muskelfaser und Muskelzelle. Die Zellenlehre. Die Arbeit des Muskels, seine Kraft und Geschwindigkeit. Der Muskel als Kraftmaschine. Muskel und Nerv.

Fünfter Abschnitt: Nerven und Sinnesorgane . . . 98

Allgemeine Anordnung und Arbeiten eines Nervensystems. Nervenzellen, Nervenfasern und ihre Erforschung. Die Aufnahme der Außenweltreize. Die Sinne. Tasten, Schmecken, Riechen. Das Sehen. Augen- und Farbensinn. Das Kameraauge, wie es arbeitet. Linse, Pupille, Netzhaut. Hilfsapparate des Auges. Das Facettenauge.

Seite

Sechster Abschnitt: Gehör- und Gleichgewichtssinn, das zentrale Nervensystem 130

Der Schall. Welche Tiere hören? Die Sinnesorgane des Ohres; der schalleitende Apparat. Gehörknöchelchen und vergleichende Anatomie des Kopfskeletts. Die Gleichgewichtsorgane. Die Verbindungen im Nervensystem. Reflex und Reflexbogen. Lebenswichtige Reflexe. Reflex und Bewußtsein. Verbreitung und Anordnung des Nervensystems, das Gehirn.

Siebenter Abschnitt: Erwerb der Nahrung 169

Darmlose Tiere. Besondere Ernährung von Schmarotzern; Zwergmännchen. Fleischfressende Pflanzen. Einrichtungen zum Fang der Nahrung; die Aufnahme der Nahrung. Zunge und Kaumagen. Ernährung von Ameisen und Termiten. Der Speichel und die Drüsen.

Achter Abschnitt: Verdauung, Stoffwechsel, Ausscheidung 200

Zusammensetzung der Nahrung; Zerkleinerung und chemische Aufschließung der Nahrung; die Verdauung der Wiederkäuer. Der Magen und seine Leistung. Die Darmverdauung. Die Aufsaugung der verdauten Nahrung und ihre Verteilung im Körper. Stoffwechsel und Wärmehaushalt. Die Ausscheidung und der Stickstoffstoffwechsel. Stoffwechsel der Natur.

Neunter Abschnitt: Geschlecht, Fortpflanzung, Befruchtung 232

Unterschied des Geschlechtes. Die Geschlechtsorgane. Ei und Samenzellen. Befruchtung und Begattung. Die Annäherung der Geschlechter. Die Geschlechtsdrüse und die äußeren Geschlechtszeichen. Das Zwittertum. Geschlechtskreise. Die ungeschlechtliche Fortpflanzung.

Zehnter Abschnitt: Kern, Chromosomen, Geschlechtsbestimmung. 262

Die Bedeutung des Zellkerns. Der Befruchtungsvorgang; Zellteilung und Chromosomen. Die Chromosomen in Befruchtung und Reifeteilung. Die Geschlechtschromosomen. Geschlechtsbegrenzte Vererbung.

Seite

Elfter Abschnitt: Mendelsche Gesetze und Vererbungslehre 290

Die Vererbungsgesetze Mendels. Die Lage der Erbfaktoren in den Chromosomen. Vererbung mit mehreren Faktoren. Die Kombination von Erbeigenschaften. Der Vorgang der künstlichen und natürlichen Züchtung. Das Entstehen neuer Erbeigenschaften. Die Entstehung der Anpassungen.

Zwölfter Abschnitt: Entwicklungsgeschichte . . . 314

Die ersten Entwicklungsvorgänge im Ei und die Anlage des späteren Organismus. Die Entstehung der ersten Organe. Faltungen, Einschnürungen, Abspaltungen. Gegenseitige Abhängigkeit und Unabhängigkeit der Entwicklungsvorgänge. Die Besonderheiten der Geschlechtszellen. Die Ernährung während der Entwicklung. Verwickelte Schicksale von Schmarotzern im Laufe der Entwicklung.

Sachverzeichnis 337

Verzeichnis der aus anderen Werken entnommenen Abbildungen.

Die Abbildungen sind zum Teil in Anlehnung an die in den genannten Werken veröffentlichten Abbildungen neu gezeichnet worden.

Abb. 4, 10, 59, 60 aus Brehm: Tierleben (Bibliographisches Institut, Leipzig).
Abb. 82 aus Kerner: Pflanzenleben (Bibliographisches Institut, Leipzig).
Abb. 14 aus Driesch: Philosophie des Organischen (Wilh. Engelmann, Leipzig).
Abb. 110 aus Gegenbaur: Vergleichende Anatomie der Wirbeltiere (Wilh. Engelmann, Leipzig).
Abb. 136, 137 (nach Boveri und Goldschmidt), 141 (nach Gruber-Rüdin), 142 (nach Wilson) aus Goldschmidt: Einführung in die Vererbungswissenschaft (Wilh. Engelmann, Leipzig).
Abb. 13 aus Morgan-Moszkowsky: Regeneration (Wilh. Engelmann, Leipzig).
Abb. 85, 103, 108, 115, 134, 158 aus Günther: Vom Urtier zum Menschen (Deutsche Verlagsanstalt, Stuttgart).
Abb. 147 aus Baur u. Goldschmidt: Wandtafeln (Gebr. Borntraeger, Berlin).
Abb. 100 aus Buchner: Tier und Pflanze in intrazellulärer Symbiose (Gebr. Borntraeger, Berlin).
Abb. 140, 143 (nach Correns) aus Correns u. Goldschmidt: Vererbung und Bestimmung des Geschlechts (Gebr. Borntraeger, Berlin).
Abb. 121 (nach Smith), 125 (nach Steinach), 126 (nach Goodale), 127, 144—146 aus Goldschmidt: Mechanismus und Physiologie der Geschlechtsbestimmung (Gebr. Borntraeger, Berlin).
Abb. 15b aus Abel: Paläobiologie (Gust. Fischer, Jena).
Abb. 6a, 31, 39, 48, 61, 72, 73, 75, 114, 118, 128 aus Boas: Lehrbuch der Zoologie (Gust. Fischer, Jena).
Abb. 2, 9, 11a, 15a, 55, 148 (nach Enderlein) aus Chun: Tiefen des Weltmeeres (Gust. Fischer, Jena).
Abb. 83, 84 aus Doflein: Ameisenlöwe (Gust. Fischer, Jena).
Abb. 42 u. 43 (nach Retzius aus Baglioni), 52c—53—54 (nach Heß), 65 (nach Huxley aus Mangold), 87a/b (nach Jennings u. Uexküll), 90, 92, 99 (nach Biedermann), 104 (nach Haeckel aus Biedermann), 105 (nach Bujard aus Biedermann): Handbuch der vergleichenden Physiologie (Gust. Fischer, Jena).
Abb. 112a/b aus Hertwig: Allgemeine Biologie (Gust. Fischer, Jena).
Abb. 112c aus Hertwig: Handbuch der vergleichenden und experimentellen Entwicklungsgeschichte (Gust. Fischer, Jena).
Abb. 113 (nach Balfour) aus Hertwig: Lehrbuch der Entwicklung der Menschen und Wirbeltiere (Gust. Fischer, Jena).
Abb. 159 aus Hertwig: Lehrbuch der Entwicklungsgeschichte (Gust. Fischer, Jena).
Abb. 81, 131, 132 aus Hertwig: Lehrbuch der Zoologie (Gust. Fischer, Jena).
Abb. 23a/b (nach Bordage), 25 (nach Morgan), 27 (nach Harrison) aus Korschelt: Regeneration und Transplantation (Gust. Fischer, Jena).
Abb. 112d aus Korschelt-Heider: Lehrbuch der vergleichenden Entwicklungsgeschichte der wirbellosen Tiere (Gust. Fischer, Jena).
Abb. 66 aus Kühn: Orientierung der Tiere im Raum (Gust. Fischer, Jena).
Abb. 51, 52a/b, 86, 107, 129, 133 (nach Schulze), 135 (nach Hofer) aus Lang: Vergleichende Anatomie der Wirbellosen (Gust. Fischer, Jena).
Abb. 82 aus Strasburger: Lehrbuch der Botanik (Gust. Fischer, Jena).
Abb. 63 aus Wiedersheim: Lehrbuch der vergleichenden Anatomie der Wirbeltiere (Gust. Fischer, Jena).

Abb. 150, 151 aus Ziegler: Vergleichende Entwicklungsgeschichte der niederen Wirbeltiere (Gust. Fischer, Jena).
Abb. 49 (nach v. Frisch) aus Zoologische Jahrbücher 1914 (Gust. Fischer, Jena).
Abb. 40 aus Spalteholz: Handatlas der Anatomie des Menschen (S. Hirzel, Leipzig).
Abb. 50 aus Tigerstedt: Lehrbuch der Physiologie des Menschen (S. Hirzel, Leipzig).
Abb. 123 aus Brandt: Grundriß der Zoologie (Hirschwaldsche Buchhandlung, Berlin).
Abb. 93, 96 aus Escherich: Termiten (Werner Klinkhardt, Leipzig).
Abb. 102 aus Pfurtscheller: Zoologische Wandtafeln (A. Pichler's Wwe. & Sohn, Wien).
Abb. 120 (nach Doflein), 161 (nach Leuckart) aus Goldschmidt: Fortpflanzung der Tiere (B. G. Teubner, Leipzig).
Abb. 5 (nach Pfurtscheller), 8 (nach Chun), 15c, 21b, 22, 29 (nach Spengelschen Präparaten), 56, 57, 64 (nach Hertwig u. Claus), 74 (nach Forel), 76, 80 (nach Delage), 88, 89, 91, 94, 116 (nach Zeller), 117 (nach Brandes), 130 (nach Meisenheimer), 157 aus Hesse-Doflein: Tierbau und Tierleben (B. G. Teubner, Leipzig).
Abb. 95, 106 aus Kraepelin: Einführung in die Biologie (B. G. Teubner, Leipzig).
Abb. 17 (nach Jewolff u. H. v. Meyer), 20 (nach Hesse-Doflein), 38 (nach Hesse-Doflein) aus Hanstein: Tierbiologie (Quelle & Meyer, Leipzig).
Abb. 152 (nach Wilson), 153 (nach Spemann) aus Dürken: Einführung in die Experimentalzoologie (Verlag von Julius Springer, Berlin).
Abb. 119 aus Goldschmidt: Die quantitative Grundlage von Vererbung und Artbildung (Verlag von Julius Springer, Berlin).
Abb. 68, 124 aus Höber: Lehrbuch der Physiologie des Menschen (Verlag von Julius Springer, Berlin).
Abb. 41, 98 aus Röseler-Lamprecht: Leitfaden für biologische Übungen (Verlag von Julius Springer, Berlin).
Abb. 122 (nach Looß) aus Selenka-Goldschmidt: Zoologisches Taschenbuch (Georg Thieme, Leipzig).
Abb. 32 (nach Schulze) aus Schimkewitsch: Lehrbuch der vergleichenden Anatomie (Schweizerbart, Stuttgart).
Abb. 44, 45 aus Prenant, Bouin, Maillard: Traité d'Histologie (Masson & Cie, Paris).
Abb. 16 (nach Marey) aus Cuénot: La génèse des espèces animales.
Die Abb. 1, 6b, 21a, 26, 28, 30, 33–37, 46, 47, 58, 62a–d, 67, 70, 71, 77, 78, 97, 101, 109, 111, 138, 139, 154, 155, 160 sind Originale. Abb. 12 nach einer Photographie von Professor Hartmann, Abb. 18a–b nach einer Photographie von Professor Poll, Abb. 3 nach einem alten japanischen Holzschnitt, Abb. 7 aus der japanischen Kinderfibel. Abb. 11b (nach Brauer), 19 (nach Schmidt), 24 (nach Tornier), 69 (nach Goldschmidt), 79 (nach Nerlsheimer), 149 (nach Boveri u. Spemann), 156 (nach Courlin).

Erster Abschnitt.

Ascaris, ein wohlklingender Name! Die Gelehrten, die es sich in den Kopf gesetzt haben, allen den zahllosen Tieren und Pflanzen griechische und lateinische Namen zu geben, haben es sich oft dabei nicht weniger sauer werden lassen als mancher Vater, der ganze Büchereien durchstöbert, bis er einen Namen gefunden, der seines Kindes würdig ist. Und dabei ergeht es beiden oft recht ähnlich: ein armer Schwächling heißt zeitlebens Achilles und ein vierschrötiger Gesell führt den sanften Namen Damian; die Naturforscher aber haben den Namen der holdseligen Aphrodite einem borstigen Wurm gegeben, Clio, die liebliche Muse, schwimmt als quabblige Schnecke im Weltmeer umher und Stentor, der gewaltige Rufer im Streit, ist ein mikroskopischer Bewohner des Wassertropfens. Nach diesen Vorbereitungen nun heraus mit dem Geständnis: Ascaris ist ein Spulwurm, eines jener verachteten Wesen, vor denen jedermann graust. Pfui, wer mag einen Wurm anrühren und noch dazu einen, der in den Eingeweiden von Tier und Mensch haust! Nun aber gar ein Buch über ein so verachtungswürdiges Geschöpf zu schreiben! Der Naturforscher ist aber doch anderer Ansicht. Er hat die Natur des Kindes. Auch dies faßt jeden Wurm an und sucht sein Wesen zu ergründen, bis ihm andere beibringen, daß dies ekelhaft sei. Und wieviel Fragen vermag ein Kind über einen Wurm zu stellen, die du, verehrter Leser, nicht beantworten kannst? Warum sollen wir ihn drum nicht einmal vornehmen und so lange fragen, bis er uns seine ganze Geschichte und darüber hinaus viele andere Geschichten erzählt

hat? Ich vermute fast, daß dann seine Häßlichkeit bald vergessen wird und er uns als ein, wenn nicht ebenso schönes, so doch ebenso bemerkenswertes Glied der Schöpfung erscheinen wird wie Pfau und Paradiesvogel.

1.

Ein Schmarotzer! So etwas kann man doch nicht zu den ehrenwerten Geschöpfen rechnen! Während andere unter ständigen Kämpfen und Gefahren ihr Dasein fristen, im Schweiß ihres Angesichts ihr Brot verdienen, lebt er untätig mitten im Überfluß, sozusagen im Reisbreiberg des Schlaraffenlandes und verzehrt mühelos die Nahrung, die sein unfreiwilliger Gastwirt für seinen eigenen Verbrauch verdaut hat. Geht es seinem Wirt gut, so geht es auch ihm gut. Aber wehe ihm, wenn das sich ändert! Denn mit diesem Leben der Üppigkeit hat er auch seine Freiheit verkauft. Stirbt der Wirt, so stirbt auch sein getreuer Schmarotzer mit ihm! Erkrankt der Darm des Wirtes, so mag das auch das Ende des Wurmes bedeuten. Verzehrt der Wirt Dinge, die der verwöhnte Wurm nicht vertragen kann — tut er es absichtlich, so sagen wir, daß er ein Wurmmittel nimmt —, so muß der Schmarotzer, der in seinem Gefängnis nicht ausweichen kann, heraus, d. h. in den sicheren Tod. Und wie eng ist sein Gefängnis! Man glaube nun nicht etwa, daß er unfähig sei, sich hinauszubewegen. Man beobachte einmal ein paar lebensfrische Tiere in einem Glas, wie sie sich mit heftigen Bewegungen hin und her schlängeln. Ohne Zweifel vermöchten sie auch herumzuwandern, und in der Tat erwacht manchmal in ihnen die Wanderlust und führt sie aus ihrem sicheren Wohnort, dem Dünndarm, in Abenteuer hinaus. Aber wohl nie kehrt einer von einer Wanderfahrt lebend heim. Da liegt ganz nahe von ihrer Behausung, auf dem Weg ins Freie, der Dickdarm. Aber wehe dem, der dort einen Besuch abstattet! Er muß zur Strafe das Land verlassen und in dem Schmutz einer Kloake sterben. Auch auf der anderen Seite winkt ein Ausgang: dort geht es in den Magen. Aber auch da geht es dem Wanderer nicht besser. Zunächst kann er

das Klima dort gar nicht vertragen: in seinem Dünndarm herrschte die milde Beschaffenheit der Umgebung, die die Wissenschaft als alkalisch bezeichnet. Hier im Magen aber ist es höchst sauer. Dem Magen jedoch ist der Eindringling auch nicht willkommen, und er wirft ihn einfach hinaus, zum großen Schreck der Mutter, deren Kind Würmer erbricht. Aber am allerunvernünftigsten ist es doch, wenn Herr oder Frau Ascaris es sich in den Kopf gesetzt haben, neue Gegenden zu erforschen. Glücklicherweise ist dieser Einfall selten, denn er endet mit dem Selbstmord des Wurmes und der Ermordung seines Wirtes samt allen in ihm lebenden

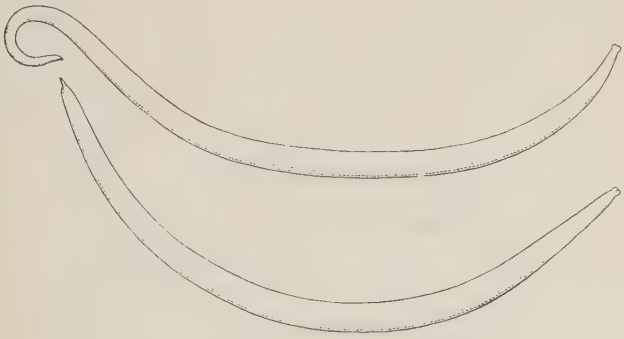


Abb. 1. Ascaris.

Brüdern und Schwestern des Verbrechers. Ein solcher Geselle bohrt sich nämlich durch die Darmwand hindurch und wandert, wohin er gelangen kann. Es ist schon vorgekommen, daß dies die Lunge war und von da ist es ja durch die Luftröhre gar nicht so weit bis zur Nase: einem solchen armen Kranken konnte man wirklich die Würmer aus der Nase ziehen.

So hat denn, das ist klar, der Schmarotzer sein Leben im Reisbreiberg teuer erkauft mit dem Verlust jeglicher Freiheit. Nur auf engem Raum vermag er zu leben, jeder andere Ort bedeutet Tod. Er kann nur essen, was sein Wirt ihm verdaut hat. Hungert jener, so hungert auch er, jenes Krankheit ist seine Krankheit, jenes Tod sein Tod. Er hat eben all sein Sach' auf eins gestellt, hat sich vor einer Menge

Gefahren des Kampfes ums Dasein an einen sicheren Platz geflüchtet und ist dafür hilflos geworden, wenn irgend etwas in seiner behaglichen Umgebung sich ändert. Mit seiner Eingewöhnung in ganz besondere und einzigartige Bedingungen ist er auch diesen rettungslos ausgeliefert.

2.

Ist nun solch sklavisches Abhängigkeitsverhältnis des Schmarotzers von seinem Wirt wirklich so etwas Besonderes und Einzigartiges? Ist es vielmehr nicht nur ein, wenn auch

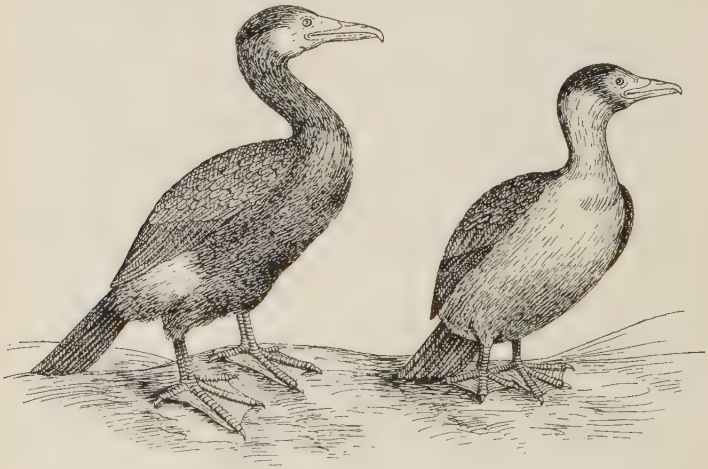


Abb. 2. Kormorane.

etwas weitgehender Fall alltäglichen Vorkommens? Sehen wir uns doch einmal in der Natur um und versuchen uns auszumalen, wie es einem in seiner Art vollkommenen Geschöpf ergehen muß, wenn es seine natürliche Umgebung verläßt. Wenn der Spulwurm, an dessen unappetitliche Gewohnheiten wir uns nun schon etwas gewöhnt haben, aus der behaglichen Körperwärme seines Wirtes hinaus ins Freie gelangt, ist er alsbald kältestarr und muß auch bei tropischer Hitze erfrieren. Geht es denn aber den Tieren und Pflanzen heißer Zonen, die wir unserem rauhen Klima aussetzen, schließlich

nicht ebenso? Welch ein Unterschied zwischen den Menschenaffen tropischer Urwälder, wie sie kreischend und zankend in den Wipfeln himmelhoher Bäume herumturnen und den armseligen Geschöpfen, die in Tiergärten unsere Schaulust befriedigen, um früher oder später dem Bundesgenossen der

Abb. 3. Kormoranfischerei.

Kälte, der Schwindsucht, zu erliegen! Welcher Unterschied zwischen der stolzen Palme am Strand einer Kokosinsel und dem armen, kältestarren Geschöpf unserer Gärten!

Habt ihr schon einmal in einem Tiergarten die merkwürdigen, heiser krächzenden Vögel mit dem schlanken Körper und dem langen Hals, die Kormorane, gesehen (Abb. 2)? Auf den Felsklippen der kalifornischen Küste sitzen sie zu Tausenden und erfüllen die Luft mit ihrem Gekrächze. Von

Zeit zu Zeit erhebt sich einer und fliegt in schwerfälligem Flug davon; aber man sieht es ihm an, die Luft ist nicht sein Element. Nun solltet ihr aber den plumpen Gesellen sehen, wenn er, von der geschickten Hand eines japanischen Fischers an langer Schnur regiert, nachts bei loderndem Fackelschein am Nagarafluß Forellen jagt (Abb. 3). Wie ein Blitz schießt er unter Wasser hin und her, um mit der Beute im Schnabel aufzutauchen, sie hinunterzuwürgen und schon nach einer frischen zu tauchen. In wenigen Minuten

Abb. 4. Ameisenbär.

ist sein langer Hals mit an die hundert Fischen gefüllt, die ganz hinunterzuschlucken eine festgebundene Schnur verhindert. Und gutmütig spuckt er sie alle in den Korb des Fischers. Nun aber stelle man sich vor, daß dieser unvergleichliche Tauchvogel an einen Platz versetzt würde, an dem es kein Wasser und keine Fische gibt. Wäre er imstande, sich wie eine Schwalbe im schnellen Flug Insekten zu erhaschen? Niemals! Er wäre hilflos verloren, genau wie der Spulwurm außerhalb des Körpers. Denn auch er besitzt seine ganz besonderen Fähigkeiten, ist einer bestimmten Lebensweise angepaßt und damit auch völlig abhängig von seiner Umgebung.

Trifft das nun nicht überall zu, wohin man in der belebten Natur blickt? Habt ihr etwa schon einmal das abenteuerliche Wesen mit dem riesenlangen, buschigen Schwanz, dem langen, dünnen Kopf und den winzigen Äuglein gesehen, den Ameisenbär (Abb. 4)? Aus seinem röhrenartigen Maul schießt er eine riesenlange Zunge hervor zur Erde und zieht sie mit ein paar anklebenden Insekten zurück, von denen er sich jahrein, jahraus ernährt. Laßt alle Insekten in seiner Umgebung verschwinden, so muß er sterben und verderben, auch wenn Tausende flinker Mäuschen um ihn herumlaufen, an denen sich sein Nachbar im Käfig, der Fuchs, leicht gütlich tun würde. In gleicher Weise könnten wir uns überall in der Welt umsehen und würden bemerken, daß mehr oder weniger alle Lebewesen in ihrer Art ebensolche Eigenbrödler des Lebens sind wie unser Spulwurm. Da muß ich denn an den Mann denken, den ich in einem der Riesenschlachthäuser Chikagos sah, der, tagaus, tagein von früh bis abends auf einem Fleck stehend, mit den sicheren Bewegungen einer Maschine, ein Schwein nach dem anderen abstach, das auf einer Schienenrolle aufgehängt an ihm vorbeisauste. Ob er wohl nach Jahren noch imstande wäre, als Robinson auf einer einsamen Insel sein Leben zu fristen?

3.

Auf was man nicht alles von einem Spulwurm aus kommt! Da fällt mir eine kleine Geschichte aus meiner Gymnasialzeit ein. Auf einem jener Maiausflüge, die den Höhepunkt des Schuljahres bildeten, fischten wir in dem Weiher nahe einer sagenumwobenen Odenwaldsburg Molche oder, wie wir es damals nicht ganz einwandfrei nannten, Salamander. Da kam ein Junge auf den gräßlichen Gedanken, eine Wette anzubieten, daß er einen lebenden Molch hinunterschlucken könne. Die Wette wurde angenommen und gewonnen. Was wurde nun aus dem Molch? Kein Zweifel, nichts anderes, als aus dem Stück Fleisch der vorhergehenden Mahlzeit oder aus der Auster, deren Schicksal es ist, lebend verschluckt zu werden: er wurde verdaut. Merkt ihr nun, weshalb mir diese

Geschichte wieder einfiel? Nun, warum wird denn der Molch und die Auster verdaut, der Spulwurm aber lebt ungestört in dem gleichen Darm, ringsumher Auflösung, der er selbst nicht verfällt? Da sollten wir erst einmal wissen, was „verdauen" eigentlich bedeutet, und das ist, wenn wir nicht gar zu unbescheidene Fragen stellen, leicht zu erfahren. Wirf ein Stück Zucker in Wasser und es löst sich alsbald auf. Wirf aber ein Stück Fleisch in das Wasser und es bleibt unverändert. Nun gehe in die Apotheke und kaufe dir ein Gläschen eines gelblichen Pulvers mit der Aufschrift „Trypsin". Setze davon dem Wasser einiges zu und stelle das Glas in einen Wärmeschrank, in dem es eben so warm ist wie in unserem Darm. Zu deinem Erstaunen wirst du sehen, daß sich nun das Fleisch auch auflöst. Was ist geschehen? Das geheimnisvolle Pulver, das wir zusetzten, ist einer jener Stoffe, die wir Umwandler nennen — die Wissenschaft spricht so gern lateinisch oder griechisch und sagt „Enzym", — deren Wesen es ist, daß ihre bloße Anwesenheit genügt, um andere Stoffe in ihrer Beschaffenheit umzuwandeln. In unserem Fall hat das Trypsinpulver die Stoffe des Fleisches so umgewandelt, oder, richtiger gesagt, so zerlegt und in neue Zusammenhänge gebracht, daß sie jetzt ebenso löslich sind wie der Zucker, mit anderen Worten, das Fleisch ist verdaut worden. So seht ihr, was Verdauung ist: unlösliche Stoffe, die das Lebewesen als Nahrung verzehrt, werden durch die unwiderstehlich umwandelnde Wirkung der Enzyme in Lösliches zerlegt und umgeordnet. Denn nur in gelöster Form können die Stoffe weiter vom Darm aus in den Körper gelangen und ihm seine Nahrung liefern.

Vielleicht hat euch diese merkwürdige umwandelnde Kraft der Enzyme zunächst etwas in Erstaunen gesetzt. Aber besinnt euch nur ein wenig, dann bemerkt ihr, daß sie euch eigentlich ganz vertraut ist. Die Bäuerin setzt der Milch Labkraut zu, um Käse zu erhalten, natürlich, weil das Labkraut ein solches Enzym, das Lab, enthält, das die Stoffe der Milch so umwandelt, daß sie zu Käse wird. Die sparsame Hausfrau, der der Arzt verordnet hat, Kefirmilch zu trinken, kauft sich nur die erste Flasche und wandelt mit einem Rest, den sie

gewöhnlicher Milch zusetzt, diese in Kefir um. Es ist klar, daß sie mit jenem Rest nur das notwendige Enzym zusetzte. Der Bierbrauer würde aber wohl aus seinem Gerstenbrei nie Bier bekommen, wenn er nicht in Gestalt der Hefe das unumgänglich notwendige Enzym zusetzte, nachdem die Gerste durch Einweichen verzuckert ist. Das Hefeenzym aber vergärt den Zucker zu verderblichem Alkohol und prickelnder Kohlensäure.

Nun aber zurück zu unserem Spulwurm! Der Salamander wurde verdaut, weil er für die Enzyme des Darms nichts anderes war als ein jedes Stück Fleisch. Wenn also der Spulwurm im gleichen Darm lebt, so muß er einen Schutz gegen Verdautwerden besitzen. Ist er vielleicht unangreifbar? Durchaus nicht. Denn stirbt er innerhalb des Darmes, so wird er alsbald auch verdaut. Er muß also wohl, solange er lebt, selbst etwas gegen das Verdautwerden tun. Wenn der Arzt zu einem Mann gerufen wird, der sich vergiftet hat, so gibt er ihm schleunigst das richtige Gegengift, das die zerstörende Wirkung aufhebt. Nicht viel anders ist das Verfahren, mit dem sich die Ascaris vor dem Verdautwerden schützt: sucht das Enzym sie zu verdauen, so setzt sie dem ein Gegenenzym entgegen, das jene Wirkung verhindert.

4.

Das ist nun zweifellos etwas recht Erstaunliches, was der Spulwurm da fertig bringt und wir beginnen sicher bereits, das häßliche Geschöpf etwas wohlwollender zu betrachten; denn wirkliche Leistungen sollen stets Ehrfurcht einflößen. Wir haben es uns nun einmal in den Kopf gesetzt, das Scheusal schließlich zum Liebling des Lesers zu machen. Liebe jedoch soll uns nicht blind machen. Das, was da die Ascaris vollbringt, ist sicher bewunderungswürdig, aber deshalb doch nicht einzig dastehend. Gleiches oder ähnliches finden wir auch sonst vielfach. Gar mancher erinnert sich wohl noch der Zeit, wo Schröpfen zu den beliebtesten Allheilmitteln der Medizin gehörte und in keiner Apotheke das Glas mit den Blutegeln fehlen konnte. In manchen Gegenden

Deutschlands war ihre Zucht eine einträgliche Industrie und Millionen der nützlichen Würmer wurden alljährlich nach dem Ausland ausgeführt. Heute gibt es wohl nur noch eine solche Anstalt in ziemlich bescheidenem Maßstab. Was geht nun vor sich, wenn dieser lebende Schröpfkopf dem Patienten angesetzt wird? Zunächst durchschneidet der Egel mit seinen drei scharfen Kiefern, die wie Kreissägen aussehen (Abb. 5), die Haut und beginnt dann, das ausströmende Blut aufzusaugen, bis er prall gefüllt ist wie ein Sack und ermattet abfällt. Nun weiß wohl ein jeder, daß eine solche kleine blutende Wunde nach einiger Zeit aufhört zu bluten. Daß dem so ist, ist wieder einem jener geheimnisvollen Enzyme zu verdanken, das das Blut im richtigen Moment so umwandelt, daß in seiner Flüssigkeit feste Fäden eines durch die Wirkung des Enzyms gebildeten Stoffes auftreten. Wir sagen dann, das Blut gerinnt und verstopft die Wunde. Nun mag aber der gierige Egel stundenlang saugen, das Blut gerinnt nicht. Wenn wir den Wurm noch nach Wochen aufschneiden — der Genießer verdaut nämlich monatelang an einer Mahlzeit —, das Blut in seinem Innern ist noch nicht geronnen. Und warum? Sicher errät der Leser bereits die Antwort; wie der Spulwurm dem Verdauungsenzym ein unschädlich machendes Gegenenzym entgegensetzt, so verhindert der Blutegel durch die Ausscheidung eines geeigneten Stoffes die Wirkung des Gerinnungsenzyms.

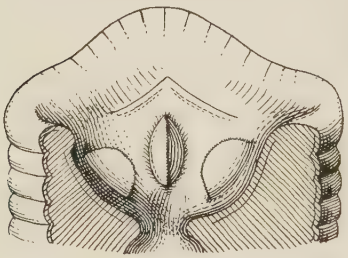


Abb. 5. Vorderende eines Blutegels, aufgeschnitten, um die drei Kiefer in der Mundhöhle zu zeigen.

5.

Wenn ein Kind uns etwa fragt: warum wechseln stets in der gleichen Weise die Jahreszeiten vom Frühling bis zum Winter und wieder zu neuem Frühling, so wird ihm wohl zur Antwort allerlei von dem unermüdlichen Lauf der Erde

um die Sonne erzählt. Da möchte ich das Kind sehen, das dann nicht fragt, warum die Erde um die Sonne läuft, oder ein ähnliches wie und warum? Es hat ja ein jedes Kind die Seele eines Naturforschers — und sicher auch der wahre Forscher die Seele eines Kindes —, das auf eine jede Antwort sogleich wieder die neue Frage wie und warum bei der Hand hat. So liegt uns denn auch schon eine neue Frage auf den Lippen, noch ehe wir uns die letzte Antwort recht eingeprägt haben: Das ist doch etwas gar merkwürdiges! Dieser Eingeweidewurm führt doch ein ganz besondersartiges Leben, zu dem all die vielen anderen Würmer, die wir kennen, durchaus nicht fähig wären. Einmal in grauen Vorzeiten muß diese Art von Leben aber doch begonnen haben. Uns fällt es aber schwer, uns mit der Lösung zu bescheiden, die die längst vermoderten Forscher vergangener Jahrhunderte sich ausdachten, nämlich, daß die göttliche Güte den Schmarotzer mitsamt seinem Wirt erschaffen habe. Nun ist doch der Wurm zweifellos seinem Dasein wundervoll angepaßt. Hätte er nicht die Fähigkeit, ein Gegenenzym auszuscheiden, so könnte er nicht eine Stunde im Darm leben. Aber wir sahen ja auch, daß der Kormoran seiner Lebensweise angepaßt ist. Es scheint also wohl eine Art Gesetz zu sein, daß ein Tier seiner Umgebung angepaßt ist. Wie erklärt sich das? Wie kommt das zustande?

Das ist sicher eine sehr wichtige Frage, die es wohl wert ist, daß wir bei der Antwort ein wenig verweilen. Wer hat nicht schon einen Maulwurf gesehen, wie er sich mit größter Geschwindigkeit in die Erde einwühlt? Man könnte sich doch wohl keine Gestalt ausdenken, die besser geeignet wäre, ohne großen Widerstand das Erdreich zu durchschneiden als diese glatte, vorn zugespitzte Walze weichen Felles, aus der die Füße kaum hervorragen? Und welche Füße! Sind die sonderbaren kräftigen Schaufeln, die der Erfindungsgabe eines jeden Mechanikers Ehre machen würden, wirklich nichts als die in vollendete Grabwerkzeuge umgewandelten Vorderfüße des pelzigen Gesellen? Sieh, da durchwühlt nebenan ein anderes kaum fingergroßes Wesen den Boden, das auf den ersten Blick wie eine verkleinerte Ausgabe des Maulwurfs er-

scheint: dieselbe walzige Gestalt, dieselben Schaufeln (Abb. 6). Aber näheres Zusehen zeigt, daß es mehr dem unappetitlichen Feind der Hausfrau, der Küchenschabe oder dem Schwaben gleicht oder auch der mehr besungenen als gekannten Grille. Es ist die Maulwurfsgrille, die, obwohl vom Maulwurf so verschieden wie der Maikäfer vom Eichhörnchen, doch in einem mit ihm übereinstimmt: in dem vollendeten Zusammenpassen von Bau und Lebensweise.

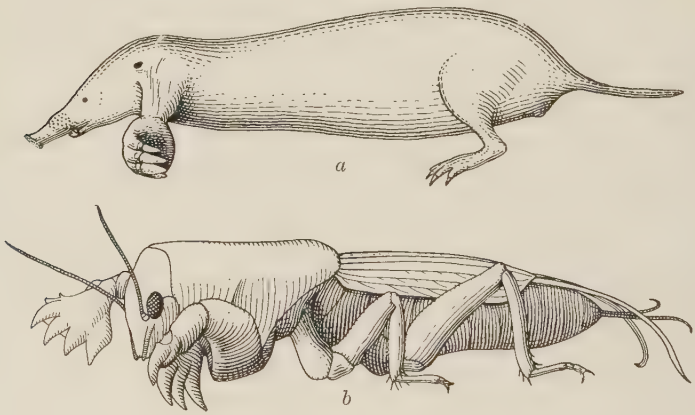


Abb. 6. *a* Maulwurf nach Entfernung der Haare.
b Maulwurfsgrille.

Nun treten wir in die nahe Wiese und eine große grüne Heuschrecke fliegt auf, um sich ein paar Schritte entfernt wieder niederzulassen. Wir treten vorsichtig hinzu, aber keine Spur von dem Tier ist zu sehen. Endlich entdecken wir es gerade vor unserer Nase und bemerken, warum sie uns so lange verborgen blieb: sie ist ebenso grün wie das Gras und wird damit in ihrer natürlichen Umgebung unsichtbar. Wie habe ich mich einst über ihre Schwestern geärgert, die in der kaktusübersäten Wüste von Arizona zu Hause sind. Überall rechts und links springen sie auf und sind alsbald wieder verschwunden. Dabei sitzen ein paar auf dem Stein gerade vor mir, aber der schmutzfarbige Leib mit ein paar dunkeln Binden darüber macht sie nahezu unsichtbar. In gleicher

Weise mag man umherschauen, wo man will, in Land, Wasser, Luft, unter der Erde und in der Tiefe des Weltmeeres, in der äußeren Erscheinung, in dem feinsten inneren Bau und in den verwickeltsten chemischen Prozessen im Innern eines Lebewesens: überall die gleiche Erscheinung der vollkommensten Anpassung an die Lebensbedingungen.

6.

Die Tiefe des Weltmeeres! Das sind doch zu verlockende Worte, um so einfach darüber hinwegzugehen! Denn nichts läßt unsere nach Geheimnisvollem langende Seele mehr erschauern als der Gedanke an die ewige Nacht in jenen dem Menschenauge verschlossenen Tiefen. Die Wirklichkeit aber, die phantastische Absonderlichkeit der dort hausenden Lebewesen, überbietet, das wissen wir jetzt, jede Vorstellung und dabei stehen, wie zu erwarten, die Anpassungen an das Leben in ewiger Nacht im Vordergrund. Aber nein, es herrscht ja gar keine ewige Nacht; dafür sorgen eine ganze Anzahl kleiner Lebewesen, die vorsorglich ihre eigenen Glühlämpchen mit sich tragen, die leuchtenden Tiere der Tiefsee. Nichts ist so merkwürdig (und trotz aller Gelehrtenarbeit noch nicht völlig verständlich) als diese Eigenschaft so vieler Tiere, aus besonderen, meist verwickelt aufgebauten Apparaten Licht auszusenden. Wer hat nicht schon einmal in einer milden Sommernacht die Leuchtkäferchen gleich Fünkchen durch die Luft schwirren sehen (Abb. 7)? Man fängt eines mit dem Hut und erkennt sogleich, daß es nur ein kleiner Fleck am Hinterleib des Tierchens ist, der genügend Licht aussendet, um die Inschrift des Hutfutters lesen zu können. Vielleicht habt Ihr auch einmal das Glück, in einer jener zauberhaften Mainächte, die es nur hier gibt, zum Heidelberger Schloß hinaufzusteigen, wenn die Luft von Fünkchen flimmert, alle Büsche glühen und auf den moosbewachsenen Treppenstufen bald hier bald dort ein Lichtchen aufglimmt und wieder verlöscht. Vielleicht ist es Euch gar einmal vergönnt, inmitten eines fröhlichen Völkchens in einem der zierlichen Teehäuser, draußen vor den Toren von Tokio zu verweilen, in denen

buntgekleidete Frauen und Kinder in heißen Juninächten ein Leuchtkäferfest feiern; ein jeder trägt einen kleinen Bambuskäfig mit leuchtenden Glühwürmchen, und Erwachsene wie Kinder suchen mit Fächern die Tausende im Garten schwirrenden Käferchen zu haschen. Vielleicht durftest du auch einmal in einer stillen Nacht im Boot durch die Fluten des Ozeans gleiten, wenn das Wasser von den Rudern wie flüssiges Gold fließt und die Tropfen wie Funken stieben, erfüllt von Myriaden leuchtender Lebewesen. Oder du standest

Abb. 7. Das japanische Leuchtkäferchen.

in schwüler Tropennacht an Bord eines der stolzen Schiffe, die den Indischen Ozean durchschneiden und sahst Tausende von faustgroßen Leuchtquallen vorbeitreiben, erregt funkelnd ob der Störung ihres stillen Pfads.

Aber wie bescheiden müßte das alles sein, wie müßte es verblassen, könnte das Auge in die fürchterliche Tiefe des Weltmeeres dringen. Nur eine schwache Vorstellung können wir uns aus dem bilden, was die heraufgefischten Wesen zeigen. Da sind Fische, deren ganze Körperlinien mit in verschiedenfarbigem Licht erstrahlenden Leuchtflecken besetzt sind, so daß sie wie ein bunt erleuchtetes Schiff in dunkler

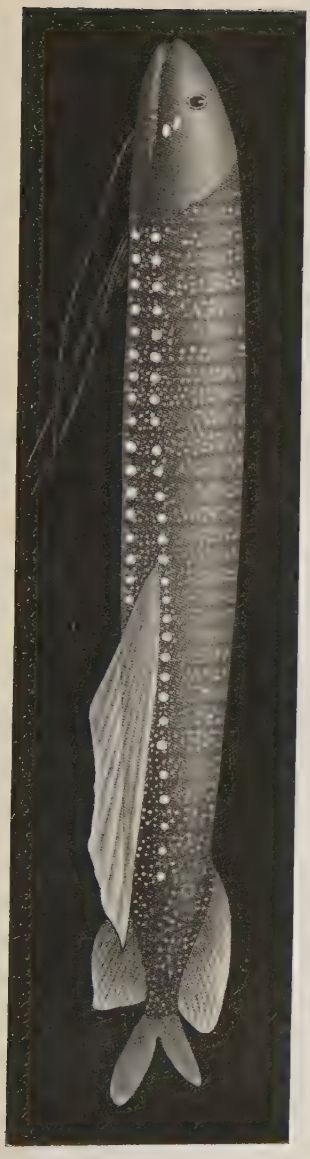


Abb. 8. Ein Tiefseefisch, übersät mit Leuchtorganen.

Nacht erscheinen müssen; andere zeigen besondere Zeichnungen und Muster von bunten Lämpchen gebildet, wieder andere erglühen nur an einzelnen

Abb. 9. Ein Tiefseetintenfisch, übersät mit Leuchtorganen.

Körperstellen oder tragen auf langen Stielen helle Fackeln vor sich her. Könnte man da einmal hineinblicken, ich glaube, der Eindruck würde ein ähnlicher sein, wie wenn man in dunkler Nacht von einem hohen Berggipfel herab ein Seefest am

Vierwaldstättersee beobachtet. Schiffe aller Arten huschen hin und her. Aber man sieht im Dunkel nur die Reihen und Girlanden bunter Papierlaternen, die sich Deck, Mast und Tauwerk entlang ziehen, oder die hellen bengalischen Flammen, die andere am Bug entzündet haben (Abb. 8, 9).

Nun muß ich gestehen, daß ich einer der wenigen Sterblichen weißer Hautfarbe bin, denen es vergönnt war, doch einen kleinen Blick in diese Wunderwelt zu tun. An der Westküste Japans, abseits vom Weg der Weltenbummler liegen zwei kleine Fischerstädtchen Uodzu und Namerikawa, bewohnt von freundlichen und guten Menschen. Vor nicht langer Zeit wurden nun die Gelehrten des Landes auf etwas sehr Merkwürdiges aufmerksam: von alters her ist es jenem Fischervolk bekannt, daß alljährlich während ganz bestimmter Wochen an diesem schmalen Küstenstreifen ungezählte Millionen von kleinen Tintenfischen auftreten, um dann wieder für ein Jahr zu verschwinden. In ungeheuren Massen wurden die Tiere gefischt und, da man nichts Besseres mit ihnen anzufangen wußte, als Dünger für die Reisfelder verwandt. Heutzutage ist man allerdings praktischer: man kocht sie, trocknet sie an der Sonne und schickt sie schiffladungsweise nach China, wo sie als Leckerbissen verzehrt werden. Sie schmecken übrigens gar nicht schlecht. Als nun die Fachgelehrten des Landes sich zum erstenmal diese Tiere richtig ansahen, bemerkten sie mit Erstaunen, daß sie einen der merkwürdigsten Bewohner der Tiefsee vor sich hatten, der der Wissenschaft bisher nur aus ein paar einzelnen Stücken bekannt geworden war, die man mühsam aus den größten Tiefen des Weltmeeres heraufgeholt hatte, und zwar einen jener Tintenfische, die an ihren langen Fangarmen ähnliche Leuchtorgane tragen wie die Fische, von denen wir sprachen. Es zeigte sich bald, daß diese Wesen alljährlich aus den finsteren Tiefen in ungeheuren Massen emporsteigen, um in der Nähe der Küste ihre Eier abzusetzen. Ich werde den Abend nie vergessen, als ich in Begleitung des Entdeckers dieses Wunders mit den Fischern hinausfuhr zu den vorher gelegten Netzen. Das ganze Wasser ringsum war erfüllt mit seltsam tanzenden Funken, hellstrahlenden, bläulichen Lämp-

chen, die die sonderbarsten Reigen aufführten, immer zwei und zwei umeinander wirbelnd. Man brauchte nur ins Wasser zu greifen, um eines der handgroßen, zappelnden Wesen zu halten, das nun mit seinen beiden Hauptarmen, an deren Spitze die Leuchtorgane sitzen, in der Luft herumfuchtelte. Das ausgestrahlte Licht glich nicht dem milden Funken eines Glühwürmchens, sondern erschien eher wie eine winzige Magnesiumfackel oder Bogenlampe. Als dann die Netze aufgezogen wurden, ergoß sich mit dem Gewühl der hunderttausend Leiber ein Strom leuchtender Sterne in das Fischer-

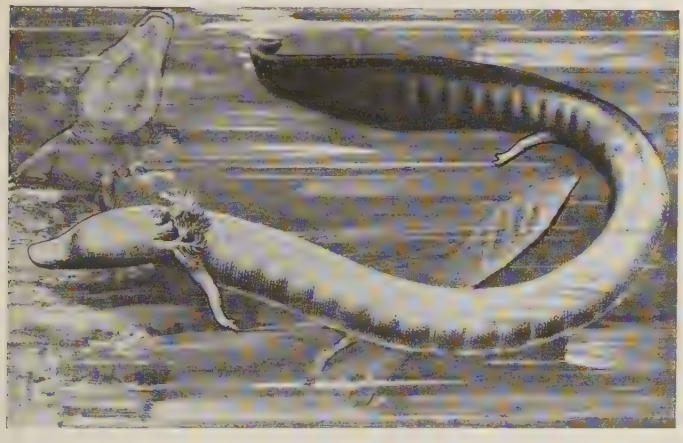


Abb. 10. Der blinde Grottenolm.

boot, allmählich im Tod erlöschend. Nun vermag ich mir doch ein wenig vorzustellen, wie es wohl drunten in der Tiefsee aussieht.

Aussieht! Ja, sieht denn überhaupt ein lebendes Wesen etwas von dieser Pracht? Das führt uns zu einer der merkwürdigsten Anpassungen an die einzigartigen Lebensbedingungen da drunten „in Nacht und Grauen". Viele Lebewesen, deren nächste Vettern an der Oberfläche ausgezeichnete Augen haben, sind da unten, wo ihnen ein gewöhnliches Auge nicht viel nützen möchte, blind, ebenso blind, wie der unter der Erde hausende Maulwurf oder der in der Adelsbergergrotte

heimische Olm (Abb. 10). Sehr viele andere aber, und zwar allerverschiedenster Art, haben im Gegenteil ganz besonders entwickelte Augen, man ist versucht zu sagen, Überaugen, die gewaltig groß und langgestreckt sind wie ein Fernrohr (Abb. 11), höchst geeignete Instrumente, um den schwachen Lichtschimmer im unendlichen Dunkel wahrzunehmen.

7.

Nun haben wir aber ein langes Garn gesponnen, wie der Seemann sagen würde, und müssen trachten, daß der Faden hübsch auf der Spule bleibt. All diese Dinge sind uns ja eingefallen, als wir uns darüber wunderten, daß der Spulwurm durch seine Fähigkeit, ein Gegenenzym zu bilden, so schön dem Aufenthalt in zerstörenden Verdauungssäften angepaßt

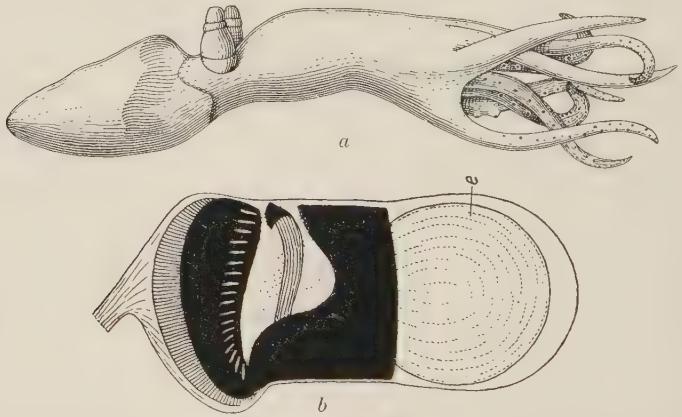


Abb. 11. *a* Ein Tiefseetintenfisch mit Teleskopaugen.
b Ein einzelnes Teleskopauge eines Tiefseefisches. Bei *e* die riesige Linse.

ist; wir brauchten dann nur ein wenig die Gedanken in aller Welt und im köstlichen Buch der Erinnerungen umherschweifen zu lassen, um zu finden, daß sie immer wieder auf die gleiche Erscheinung stießen, die glänzende Anpassung der Lebewesen an ihre Umgebung und Lebensweise. Da sind wir denn wieder einmal bei dem unersättlichen Wörtchen „warum" angelangt. Nun, ein wenig Geduld!

Es gibt wohl wenige denkende Menschen, die nie den Namen Darwins gehört haben, wenn es auch nicht allzu viele gibt, die seine Schriften lesen. Es gab eine Zeit — sie liegt nicht gar so weit zurück — wo dieser Name zugleich ein Kampfgeschrei bedeutete. Das ist nun vorüber und über die Grundgedanken seiner Lehre gibt es bei denen, denen ihre Kenntnisse das Recht zu urteilen verleihen, keine zweierlei Meinungen. Wir sind alle überzeugt, daß die Welt von Lebewesen, wie sie uns jetzt umgibt, nicht immer so gewesen ist, sondern daß sich alles aus einfachen Anfängen heraus im unendlichen Lauf der Zeiten zu seiner jetzigen Form entwickelte. So wird denn auch niemals jemand daran zweifeln, daß auch der schmarotzende Spulwurm von Formen „abstammt", die ein freies Leben im Tageslicht führten wie ihre Brüder. Niemand wird ferner daran zweifeln, daß die Ahnen der absonderlichen Tiefseefische den gewöhnlichen Fischen der Meeresoberfläche glichen. Die besondersartige Lebensweise im Darm eines anderen Lebewesens oder in den finsteren Abgründen der Tiefsee muß also einmal neu gewesen sein und die Eigenschaften, die jene Wesen so gut ihrer neuen Umgebung angepaßt erscheinen lassen, müssen einmal entstanden sein. Nun möchten wir gar zu gern wissen, wie sie entstanden sind.

Da fällt mir nun wieder eine Geschichte aus meiner Gymnasiastenzeit ein. Ich gehörte schon früh zu den verworfenen Jünglingen, die sich erlaubten, allerlei Dinge interessanter zu finden, als die Geschichte des bayrischen Erbfolgekriegs, auch Kartoffelkrieg genannt. Die Lieblingsbeschäftigung meiner Mußestunden waren aber Bücher über die Abstammungslehre und ähnliche Fragen, die den Erkenntnisdrang des halbreifen Jünglings befriedigten. In der Begeisterung für die neu gewonnene Erkenntnis suchte ich sie natürlich auch meinen Mitschülern mitzuteilen. Als ich so wieder einmal in einer Gruppe von Freunden stand, eifrig für die Wahrheit der Darwinschen Lehre kämpfend, hörte ich den Primus der Klasse, einen abgeschworenen Feind moderner Erkenntnis, spöttisch sagen: „Er bekehrt wieder!" Jetzt, nach so vielen Jahren, muß ich gestehen, daß er in gewissem Sinne recht

hatte. Tatsächlich suchte ich andere glauben zu machen, was ich selbst nicht beweisen konnte. Wäre mir nun damals obige Frage nach dem Ursprung der Anpassungen vorgelegt worden, so hätte ich wohl im Sinn der Bücher, die ich gelesen hatte, geantwortet: Das ist doch sehr einfach. Unter den vielen Geschwistern der Fischfamilie, die eines Tages sich als Wohnquartier und Jagdgründe die Tiefsee aufsuchten, waren nicht alle völlig gleich, so wie sich auch zwei Brüder nie völlig gleichen. Da mögen auch einige gewesen sein, deren Augen zufällig ein klein wenig von denen der anderen abwichen, so daß sie schwächeres Licht wahrnehmen konnten als ihre Brüder. Dadurch waren sie natürlich im ständigen Kampf um das tägliche Brot den anderen überlegen, vielleicht waren sie auch besser imstande, zur Fortpflanzungszeit die Weibchen aufzufinden, kurzum, ihre Aussichten, durchzukommen und Nachkommen zu zeugen, waren bessere. Die Nachkommen aber erbten jene natürlichen Eigenschaften und unter ihnen waren wieder einige, bei denen die Augen in der gleichen Richtung noch etwas mehr vervollkommnet waren. Nun fand die gleiche Auslese der besser Gestellten wieder statt und so immer und immer wieder, bis die Wirkung des Kampfes ums Dasein durch immer wiederkehrende Auswahl der besten Seher einen Fisch mit Fernrohraugen gezüchtet hatte. Ja, so hätte ich wohl damals geantwortet. Seitdem haben andere und ich viel gelernt und wir wissen jetzt, daß es richtiger wäre, so zu sprechen: Es ist doch kaum möglich, daß irgendein Wesen in neuen besonderen Bedingungen bestehen kann, wenn es nicht schon vorher die dazu nötigen Eigenschaften besaß. Wer ohne Pelzmantel zum Nordpol geht, erfriert. Wer in der Erde wühlen will wie ein Maulwurf, kommt nicht weit, wenn er nicht von Anfang an Grabschaufeln hatte. Wenn der erste Spulwurm, der in einen Darm einwanderte, nicht schon vorher die Fähigkeit gehabt hätte, das Gegenenzym auszuscheiden, so wäre er einfach verdaut worden und es wäre beim ersten Versuch geblieben. Es mag also wohl eher mit den schönen Anpassungen umgekehrt gegangen sein: Zuerst waren die Eigenschaften da, und dann konnte das Lebewesen es sich leisten, an einen Platz

zu gehen, wo zu leben diese Eigenschaften ihm und nur ihm ermöglichten: also nicht eine Anpassung an gegebene Bedingungen, sondern eine Einwanderung an einen seinen Fähigkeiten zusagenden Platz. Heute weiß ich aber noch mehr als dies: ich weiß, daß es vergeudete Zeit ist, allzuviel über diese Dinge zu streiten. Warum reden, wenn Taten möglich sind? Man nehme Lebewesen und unterwerfe sie neuen Bedingungen und sehe dann, was erfolgt. Man nehme ein Wesen einer Art, das sich von seinen Brüdern unterscheidet und stelle fest, ob seine Nachkommen den Unterschied als Erbstück von ihm erhalten. Man nehme Lebewesen und versuche, ob man sie zwingen kann, neue Eigenschaften hervorzubringen. Kurzum, man wende all seine Kraft daran, der Natur Fragen zu stellen und sie zu zwingen, darauf zu antworten; man grüble nicht, sondern experimentiere! Muß nun noch gesagt werden, daß Hunderte von scharfsinnigen Hirnen und geschickten Händen damit beschäftigt sind, das zu tun und auf unsere Frage wie tausend andere die richtige Antwort zu erhalten? Geduld! Wir werden noch davon hören.

Nun wollen wir aber zunächst einmal einhalten! Fragen auf Fragen, die uns immer weiter fortreißen und uns ganz vergessen lassen, daß wir ja noch kein Recht haben, die großen Zusammenhänge der Welt lösen zu wollen. Wir wollen seiltanzen, ehe wir gehen gelernt haben. Also sachte zurück von den Höhen des Geistesflugs in die Niederungen beharrlicher Arbeit. Denn eigentlich wissen wir doch bis jetzt nicht viel mehr, als daß vor uns ein Spulwurm liegt, durch dessen Betrachtung wir in die Wissenschaft vom Leben eindringen wollen.

Zweiter Abschnitt.

Meine gute, alte Tante, die so gar nicht verstehen konnte, weshalb ich, anstatt rechtschaffen mein Brot zu erwerben, mich auf eine so brotlose Kunst versteifte, wie es die Naturforschung einmal ist, frug mich einst: „Ja, hast du denn immer noch nicht alle Katzen und Hunde aufgeschnitten und

gesehen, wie sie inwendig ausschauen?" Damals war ich sehr beleidigt und meinte, daß sie doch nicht das richtige Verständnis für meine Wissenschaft habe. Aber wer weiß, vielleicht lag doch ein tiefer Sinn in der naiven Frage: mehr oder minder sind doch alle Tiere wie Katze und Hund; sie atmen, fressen, verdauen, bewegen sich, fühlen und vermehren sich, und so werden sie ja wohl auch alle „inwendig" mehr oder minder gleich sein: wenn man eines richtig „aufgeschnitten" hat, sollte man sie sozusagen alle kennen. Wenn wir das nun nicht gar so wörtlich nehmen, sondern nur so im großen ganzen an die wichtigsten Abläufe des Lebens denken, so ist das auch wahr. Wäre dem nicht so, dann könnten wir ruhig die Feder niederlegen; es wäre ja dann sinnlos, durch Vermittlung irgendeines Lebewesens, Spulwurm oder Mensch, in die Wissenschaft vom Leben eindringen zu wollen. So wollen wir uns denn einmal unsere Ascaris etwas genauer ansehen, sie auch aufschneiden, um zu erkennen, wie verwickelt eigentlich schon die einfachsten Teile ineinander greifen, die ein jedes tierische Wesen benötigt, um zu leben.

1.

Da stehen wir nun gleich wieder vor einer Frage: Was heißt denn „um zu leben"? Frißt nicht auch eine Maschine Kohlen und Öl, bewegt sich und vollbringt mannigfache wundersame Dinge? Auch eine Maschine, die sich fortpflanzt, vermag man sich wohl auszudenken, etwa eine Rakete, die immer wieder neue und neue Feuerkugeln gebiert. Und doch, sie lebt nicht und stirbt auch nicht; sie kann zerstört und zertrümmert werden, aber sie kann nicht sterben. Muß ich wirklich diese Frage beantworten? So muß ich denn gestehen, daß es da den Gelehrten ebenso geht wie anderen Menschen im täglichen Leben. Wie oft begegnet es uns, daß auf eine Frage zwei ganz verschiedene Antworten gegeben werden können und ernste, verständige Männer vertreten genau die entgegengesetzten Anschauungen. Lauscht man aber ihren Reden, so wissen sie beide gute Gründe ins Feld zu führen,

und unsere Entscheidung hängt schließlich nicht so sehr von der Überzeugungskraft der Gründe ab, sondern von unserem Inneren, unserer angeborenen und anerzogenen Art, die Dinge zu betrachten, und die Welt zu verstehen. Genau so scheint es mir mit dem Wesen des Lebens zu sein. Den einen ist das Leben nicht irgendwie wesentlich vom Leblosen, von der Maschine, verschieden. Wir müssen uns die Maschine nur genügend verwickelt vorstellen, eine Maschine, in der eine ganze Fabrik anderer Maschinen wieder enthalten ist und in der alles in unübersehbarem Ineinandergreifen abläuft. Nichts hindert uns an einer derartigen Vorstellung, denn das Wort „unmöglich" wird in unserem Zeitalter von heute auf morgen zuschanden. Tatsächlich zeigt die rastlos arbeitende Wissenschaft nahezu täglich für eine andere Leistung des Lebendigen, die man vorher für unbegreifbar hielt, daß sie auch in der Kochflasche des Chemikers und in der Maschine des Physikers nachgeahmt werden kann. Warum sollten wir uns also, bloß, weil wir es heute nicht besser wissen, weigern, anzunehmen, daß schließlich das ganze Leben als eine Unmasse solcher maschinellen Vorgänge, als eine höchst verwickelte Maschine verstanden werden kann?

Nun kommt die andere Seite zu Wort und spricht: Gut, das Lebendige ist bis zu einem gewissen Grade eine Maschine, und vieles von dem, was das Leben ausmacht, läßt sich in Gestalt einer solchen vorstellen. Aber es gibt doch Dinge, die der lebende Stoff vermag, die der toten Maschine unmöglich sind. Läßt sich etwa eine Maschine vorstellen, die man in 100 Stücke zerschlägt, aber alsbald lagern sich die Bruchstücke wieder zu hundert kleinen, aber ganzen Maschinen um? Zerschneide aber den zierlichen Süßwasserpolypen in 100 Stücke, und morgen hast du wieder 100 kleine Polypen (Abb. 12, 13). Läßt sich eine Maschine vorstellen, die, wenn du ihr ein paar Teile ausreißt, sie alsbald folgerichtig neu bildet; in anderen Fällen aber einen bestimmten anderen Teil, etwa einen Kolben statt eines Rades wachsen läßt? Wird aber einem Salamander vom Verfolger ein Bein abgebissen, so wächst ein neues aus der Wunde, genau wie das alte war; geht ein gewisser Krebs seiner auf einem Stiel sitzenden

Augen verlustig, so wächst aus der Wunde — ein Fühlhorn. Kann man sich eine Maschine vorstellen, deren Teile gezwungen werden können, plötzlich ihre Tätigkeit zu vertauschen, also etwa, daß der Schornstein sich dreht, und das Rad den Dampf ausstößt? Ein Lebewesen aber kann derartiges. Am Meeresboden festgewachsen leben sogenannte Röhrenpolypen, deren Form etwa der einer auf langem Stiel

Abb. 12. Gruppe von Süßwasserpolypen.

sitzenden Chrysanthemumblüte gleicht. Schneidet man nun aus dem Stiel eines solchen Polypen ein Stückchen heraus, so wird es sich in einigen Tagen in einen neuen Polypen verwandeln; die „Blüte" des neuen Polypen wird sich aber stets an dem Ende des Stielchens bilden, das vor dem Abschneiden nach dem Köpfchen des Polypen, das wir mit der Chrysanthemumblüte verglichen, gerichtet war. Hätten wir nun das Stielstückchen — es sei einen Zentimeter lang — einen halben Zentimeter weiter oben ausgeschnitten, so würde, da

die Umwandlung ja die gleiche ist, dieselbe Stelle des Stiels, die vorher das Köpfchen gegeben hatte, diesmal das Mittelteil liefern, und die, die vorher das Mittelteil gab, diesmal das Ende. Es hat also nicht eine bestimmte Stelle des Stiels die Fähigkeit, sich in ein Köpfchen zu wandeln, sondern jede Stelle kann alles, und was sie liefert, hängt ausschließlich davon ab, wo sie zufällig im ausgeschnittenen Stück liegt (Abb. 14). Das gleiche Stück der Maschine fängt, um bei dem

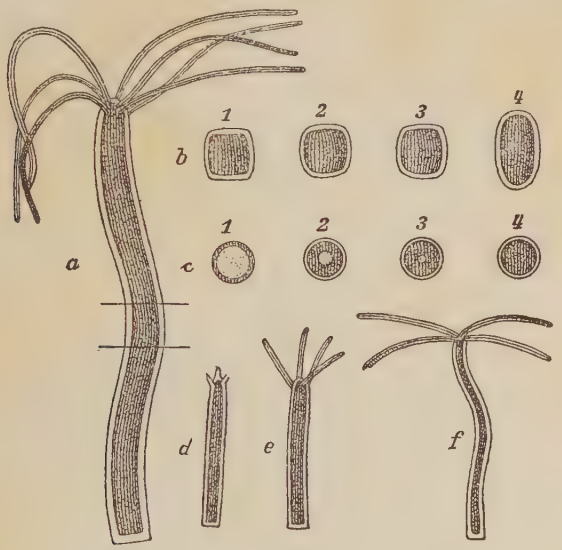


Abb. 13. *a* Süßwasserpolyp aus dem das durch Striche abgegrenzte Stück herausgeschnitten wird, *b*, *d*, *e*, *f* wie sich aus dem Teilstück allmählich wieder ein Polyp ergänzt, *c* die gleichen Stücke wie *b* von oben gesehen.

Vergleiche zu bleiben, in der einen Lage an, Dampf auszupuffen, in der anderen dreht es sich oder sonst etwas. Aus solchen und ähnlichen Tatsachen schließt nun die andere Seite, daß mit der bekannten Art von Maschinen das Leben nicht erklärt ist, daß noch etwas Besonderes, der toten Maschine Fehlendes, vorhanden sein muß, das jedem Teilchen der Lebensmaschine innewohnen muß und sie zu Leistungen

befähigt, die nur sie kann: also eine Lebenskraft, Seele, Eigenwesen oder wie es sonst genannt wird.

Wie sollen wir uns nun entscheiden, wenn von so gescheiten Leuten, die einen versichern, das Leben sei nichts anderes als eine Kette von Vorgängen der gleichen Art, wie wir sie aus Physik und Chemie kennen, nur viel verwickelter, und die anderen es ebenso genau wissen wollen, daß das nicht möglich ist? Mir scheint, daß unsere Antwort davon abhängen wird, in welcher Weise wir zu denken gewohnt sind, welche

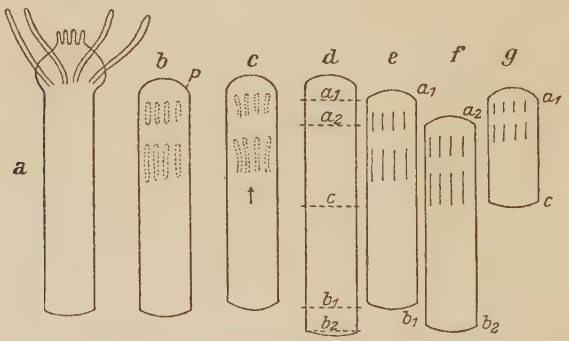


Abb. 14. *a* Vereinfachte Darstellung eines Meerespolypen mit zwei Kränzen von Fangfäden, *b* nach Abschneiden des Köpfchens bilden sich am Stiel die beiden (*c*) Fangfädenkränze von neuem. In *d* sind verschiedene Möglichkeiten angegeben, wie aus dem Stil Stücke geschnitten werden, nämlich a_1 b_1 oder a_2 b_2 oder a_1 *c*. In jedem Fall bilden sich die neuen Fangfäden in richtiger Reihenfolge und Anordnung aus einer andern Stelle des Stieles, wie *e*, *f*, *g* zeigen.

Kenntnisse wir besitzen, welchen uns bekannten Tatsachen wir eine entscheidende Bedeutung zuerkennen, und welche Hoffnungen und Ziele wir bei unserer eigenen Tätigkeit verfolgen. Da ich euch aber meine eigene Ansicht nicht sagen kann, ohne des längeren und breiteren zu erklären, warum ich sie habe, so ist es wohl das beste, es so zu machen, wie wenn man zwei Straßenrednern zugehört hat, die jeder die entgegengesetzte politische Meinung als die allein seligmachende preisen. Nach einiger Zeit geht man seines Weges und begibt sich wieder an seine Arbeit. Das wollen wir denn auch jetzt tun.

Die Arbeit, die auf uns wartet, ist die, daß wir uns die Spulwürmer in der Schüssel warmen Wassers auf dem Studiertisch nun einmal genauer ansehen. Da ist es sicher das erste, was wir feststellen, daß wir lange, drehrunde, weiße Würmer vor uns haben. Größe, Form, Farbe sind die Eigenschaften eines neuen Gegenstandes, die sich uns zuerst einprägen. Das ist auch beim Naturforscher der Fall, wenn er versucht, die Lebewesen der Erde zu einem geordneten Ganzen anzuordnen. Er unterscheidet etwa das große und das kleine Nachtpfauenauge, den braunen und den schwarzen Bären, die glatte und die gekielte Wegschnecke. So fragen wir uns denn sogleich, warum Form, Farbe, Größe in der Natur verschieden sind, ob ihnen irgendeine Bedeutung zukomme — etwa im Zusammenhang mit der Lebensweise der Tiere — oder ob sie vielleicht nur dem regellosen Spiel des Zufalls entspringen.

Die Spulwürmer, die wir vor uns haben, entstammen dem Darm eines Pferdes und sind über fußlang. Hätten wir bei einem Schwein gesucht, so möchten wir wohl eine andere, wenn auch sehr ähnliche Art gefunden haben, die halb so groß wird; der Hundespulwurm aber ist hinwiederum nur halb so groß. Der Schweinespulwurm ist von gleicher Art wie der Menschenspulwurm; gelegentlich kommt aber auch beim Menschen ein sehr gefürchteter Vetter, der Hakenwurm, der Verursacher der Bergwerkskrankheit, vor. Er lebt im gleichen Darm, unter denselben äußeren Bedingungen, und doch wird er nie größer als die Breite eines Daumens. Das ist ja zweifellos eine recht alltägliche Weisheit: Das verwöhnte und mit allen Leckerbissen gefütterte Florentinerhündchen bleibt stets klein, während der immer hungrige Hofhund ein riesiger Geselle ist. Könnte ein Pony je die Gestalt eines ungeschlachten Brauwagenpferdes erreichen? Das zeigt uns klar: Die Größe ist sichtlich etwas Vorbestimmtes, im Wesen des Geschöpfes Liegendes, das es bereits mit sich auf die Welt brachte. Seine Eltern waren ebenso groß, seine Kinder werden ebenso groß sein, die Größe ist eben sein Erbteil.

Was ist das nun, Erbteil? Davon werden wir erst viel später allerlei hören. Jetzt wollen wir nur einmal bei der Größe selbst bleiben und uns durch einen Scherz auf den richtigen Weg führen lassen. Vor einer Jahrmarktsbude pflegte der Ausrufer zu verkünden: „Hier sehen Sie, meine Herrschaften, die größte Riesenschlange der Welt. Sie mißt vom Kopf zum Schwanz zehn und vom Schwanz zum Kopf zwölf Meter; wenn sie ausgewachsen ist, wächst sie immer noch, ihre natürliche Größe aber erreicht sie nie!“ Wir lächeln über den lustigen Unsinn, Unsinn, weil es doch so selbstverständlich ist, daß etwas Ausgewachsenes nicht mehr weiterwächst, und daß jedes Tier, wenn ausgewachsen, seine natürliche Größe hat. Nun aber stutzen wir vor diesen selbstverständlichen Dingen. Was bedeuten denn Ausgewachsensein und natürliche Größe? Warum wachsen die Bäume nicht in den Himmel? Wenn ein Haus „wie aus dem Boden wächst“, dann tragen fleißige Maurer Stein auf Stein, und es hängt schließlich nur von ihnen und des Architekten Willen ab, wie lange sie das fortsetzen, und ob das Haus groß oder klein wird. Der Turm von Babel hat längst aufgehört, eine Unmöglichkeit zu sein: es ist nur eine Frage von Baukunst, Zeit, Geld und Arbeitskraft, wie hoch ein Haus wächst. Auch wenn ein Lebewesen wächst, muß es Stein auf Stein schichten, die winzig kleinen Zellen, die den Leib ebenso zusammensetzen, wie die Steine die Mauer. Aber da ist kein Maurer, der neue Steine bringen kann, das Lebewesen wächst vielmehr, solange seine Zellen, gleichzeitig Stein und Maurer, sich teilen, sich vermehren. Jeder Stein muß den nächsten selbst erzeugen; die Zelle teilt sich, wenn sie ein Stück gewachsen ist, in zwei neue Tochterzellen. Die Bäume wachsen also nicht in den Himmel, die Maus wird nicht gleich dem Elefanten, weil ihre Zellen nach Millionen geschäftiger Teilungen schließlich müde und alt werden und sich zur Ruhe setzen. Der Maurer hat aufgehört zu arbeiten, höchstens, daß er hie und da notwendige Ausbesserungen ausführt, das Tier ist ausgewachsen. So bedeutet also die verschiedene Größe der Lebewesen nichts anderes als die von ihren Eltern ererbte Fähigkeit der Zellen, sich ungehindert bis zu einem bestimm-

ten Maß zu teilen, vorausgesetzt natürlich, daß keine äußere Macht sie in ihrer rastlosen Tätigkeit stört.

Die letztere Einschränkung ist ja wohl nicht ganz unerwartet. Denn jedermann weiß, daß wir durch schlechte Behandlung Tier oder Pflanze, die groß werden sollten, klein halten können und durch gute Pflege Kleines bis zu einem gewissen Maß vergrößern können. Gar mancher hat schon die winzigen japanischen Zwergbäumchen gesehen. In Japan begegnet man Prunkstücken von 300jährigen Kiefern, die nicht größer sind als ein Rosenstock im Topf. Hier wurde das Wachstum durch geschickte Verkürzung der Ernährung aufgehalten, verkrüppelt. Aber das ist nun beileibe nicht eine kleine Fichtenart, sondern nur eine verkrüppelte große Fichte. Ließen wir ihre Samen ungestört wachsen, so ergäben sie den gleichen großen Baum, den die Mutterpflanze auch ergeben hätte, wenn sie nicht gewaltsam daran gehindert worden wäre. Diese Zwergpflanze ist also etwas ganz anderes als etwa das Zwerghündchen, das seine Zwergenhaftigkeit ererbt hat und auch unter den glänzendsten Bedingungen ein Zwerg bleibt. Diese so einfachen Tatsachen lehren uns aber etwas sehr Wichtiges: zwei sichtbarlich ganz gleiche Erscheinungen, hier die Zwergenhaftigkeit, können etwas ganz Verschiedenes sein; einmal eine ererbte Anlage, ein andermal eine äußerlich aufgezwungene Veränderung, die die ererbte Anlage nicht zur Geltung kommen läßt. Sicher sind wir auf den ersten Blick nie imstande zu entscheiden, was wir vor uns haben. Das einzige Mittel der Entscheidung ist, zuzusehen, wie die Eltern sich verhielten, und wie die Nachkommen sich verhalten. An ihren Früchten sollt ihr sie erkennen.

Wir bezeichneten soeben diese doch recht alltäglich erscheinende Weisheit als sehr wichtig. Weshalb wohl? Die Antwort liegt gar nicht so fern, wenn wir uns an das erinnern, was wir vor kurzem über die Abstammung höherer Lebewesen von einfacheren und über die Anpassung an die Verhältnisse der Außenwelt hörten. Unter den Möglichkeiten, wie neue Eigenschaften bei Tieren und Pflanzen zustande kommen können, gibt es eine besonders naheliegende. Die Außenwelt wirkt zweifellos verändernd auf ein Lebewesen ein, das

stets bereit ist, ähnlich einem feinen Meßinstrument, auf Veränderungen in den Lebensverhältnissen zu antworten: also etwa, um bei unserem Ausgangspunkt zu bleiben, in schlechten Nahrungsverhältnissen zu verzwergen. Es liegt nun recht nahe, zu glauben, daß die Nachkommen wenigstens etwas von dieser Veränderung erben; und daß, wenn sie wieder unter den gleichen Verhältnissen leben, ihre Kinder noch mehr in der gleichen Richtung verändert sind, bis schließlich die von jeder Generation erworbenen und der nächsten vererbten Eigenschaften sich zu etwas ganz Neuem zusammenaddieren. Um beim Beispiel zu bleiben, würde das etwa bedeuten, daß durch jahrhundertelange Aushungerung der Zwerghund aus einem normalen gezüchtet werden könne. Man frage irgendeinen Tierzüchter, wie er es macht, neue Rassen zu züchten, und er wird sehr oft antworten, daß er es wirklich so mache. Zweifellos glaubt er auch daran, aber es trifft doch nicht zu. Tatsächlich hat noch niemand bis heute derartiges fertiggebracht, obwohl viele Gelehrte schon versuchten, es zu beweisen. Es zeigt sich vielmehr stets, daß mit dem Aufhören der besonderen äußeren Bedingungen auch die hervorgebrachten Veränderungen verschwinden. Das, wovon wir hier reden, nennt man die Frage nach der Vererbung erworbener Eigenschaften, und wir sehen, nach welcher Seite die Wagschale der Entscheidung neigt. Wie in aller Welt kommt denn aber etwas Neues wie eine Zwerghunderasse zustande? Ein wenig Geduld, so weit sind wir jetzt noch nicht. Eigentlich sprechen wir ja auch von der Größe des Spulwurmes, die uns noch mancherlei Bemerkenswertes lehren könnte, wenn nicht auch andere Fragen unserer harrten.

3.

Bei der Betrachtung des Spulwurmes bemerkten wir ja auch seine Form, aus der wir nun ebenfalls hoffen, mehr herauslesen zu können als die bloßen Worte „drehrund, lang, wurmförmig". So lassen wir einmal unsere Blicke umherschweifen und auf die Formen der belebten Welt ein wenig achten. Dort sehen wir gleich auf der Straße ein paar Hunde

miteinander tollen, ein Windspiel mit schlanken Gliedern in leichten Sprüngen und einen Zughund in plumpen Sätzen sich kurzer Freiheit erfreuend. Dort führt man ein leicht tänzelndes hochbeiniges Rennpferd vorbei, und seinen Pfad kreuzt mit schweren, wuchtigen Schritten ein haariges Lastpferd. Beim Fischhändler um die Ecke schießen lange, spitzschnäuzige Muränen durch den Behälter, auf dem Boden aber liegt, flach wie eine Scheibe, die träge Flunder. Drüben am Bach stolziert gravitätisch auf langen Beinen ein Storch, mit seinem langen Schnabel klappernd, und daneben watschelt die kurzbeinige Ente und schnattert mit kurzem, breiten Mundwerk. Bedeuten die vertrauten Formen all dieser Tiere nicht eine Kette von Fragen?

Da erscheint es uns sogleich sozusagen selbstverständlich, daß die schlanke geschmeidige Gestalt des Windhundes, des Rennpferdes oder der Gazelle mit ihrer Flüchtigkeit zusammenhängt; daß der Storch auf langen Beinen dahersteigt, um im Sumpf watend nach Fröschen suchen zu können, die Ente aber mit ihren kurzen Beinchen ebenso zufrieden sein kann, da ihr Lebenselement das Wasser und nicht die Wiese ist; daß die räuberische Muräne oder der bekanntere Hecht gut daran tun, schlank zu sein, um auf der Jagd schnell genug durchs Wasser schießen zu können, die flache Scholle aber schön dazu geeignet ist, platt im Meeressand zu liegen. Ist das nun aber wirklich so selbstverständlich? Erinnern wir uns doch einmal, welcher geistige Aufwand nötig war, um aus der plumpen Form der Galeere die elegante Gestalt des Torpedobootes zu entwickeln, in dem jede Linie und Krümmung darauf berechnet ist, mit möglichst geringer Hemmung das Wasser zu durchschneiden. Das ist aber doch die gleiche Aufgabe, die in der Form des Hechtes oder Haifisches so glänzend gelöst ist.

Schauen wir uns nun einmal ein wenig unter den uns bekannten Lebewesen um, die eine ähnliche Form zeigen, so fällt uns wohl bald der Walfisch ein (Abb. 15). Aus unserer Schulzeit erinnern wir uns wohl noch, daß dieser ungeschlachte Riese, der sich durch die Fluten des Meeres wälzt, gar kein Fisch ist, sondern ein Säugetier. Leute, die es wissen

müssen, können versichern, daß er seinem ganzen Bau nach ein Vetter der Huftiere, also Rindvieh, Pferd, Schwein ist. Seine so wundervoll zu seiner Lebensweise passende Fischform muß sich also einmal in grauer Vorzeit aus einer seinen Vettern ähnlichen Form entwickelt, umgebildet haben. Wenn wir vom Wal reden, denken wir auch alsbald an die am Lande so plumpen, im Wasser so geschmeidigen Seehunde und Seelöwen, deren heiseres Bellen zur Zeit der Fütterung die Besucher des Tiergartens in Strömen herbeilockt (Abb. 15). Die Wissenschaft versichert uns, nachdem sie genau den inneren Bau geprüft hat, daß sie nahe Vettern der Raubtiere sind. Aber welcher Unterschied der Gestalt zwischen Landlöwe und Seelöwe! Vielleicht sind euch auch, nicht nur aus Scheffels Lied, die vorweltlichen Seeungeheuer bekannt, Ichthyosaurus, zu deutsch Fischechse genannt (Abb. 15). Auch sie haben die Fischgestalt des Hechtes oder Walfisches, und dabei sind es eidechsenartige Tiere. Nun halten wir einmal ein und denken ein wenig darüber nach, was es bedeutet, daß Tiere aus so verschiedenen Gruppen alle eine ähnliche Form besitzen, die den mechanischen Bedingungen ihrer Umgebung sich vollendet anschmiegt. Da bemerken wir wohl sogleich, daß wir, wie der verirrte Wanderer bei Nacht im Kreis herumgegangen sind und uns jetzt plötzlich wieder an dem gleichen Punkt befinden: bei dem Begriff der Anpassung. Mehr aber als bei allen anderen bisher benutzten Beispielen glauben wir sie hier direkt bei der Arbeit zu sehen und fragen uns: hat vielleicht der Druck des Wassers oder eine ähnliche mechanische Wirkung den Wesen so verschiedenartiger Herkunft eine gleiche, zweckentsprechende Form aufgezwungen? Oder, wenn wir es von der anderen Seite betrachten, hat das Lebendige die Fähigkeit, auf besondere Verhältnisse der Außenwelt in einer vernünftigen, sachdienlichen Weise zu antworten? Drücken wir das gleiche einmal scherzhaft aus: Ein Raubtier beginnt, sich an das Wasserleben zu gewöhnen und muß sich nun täglich darüber ärgern, daß das Wasser auf jeden Vorsprung seines Körpers drückt und seiner Bewegung Schwierigkeiten bereitet. Schließlich sagt es sich, der Klügere gibt nach, zieht alle unnützen Vorsprünge

ein und wird rund wie eine Walze. Wie gesagt, nur ein Scherz, aber ist der dahinterliegende ernste Gedanke berechtigt?

Wir müssen zunächst in der Tat zugeben, daß bis zu einem gewissen Maß dem Lebendigen die Fähigkeit zukommt, sich

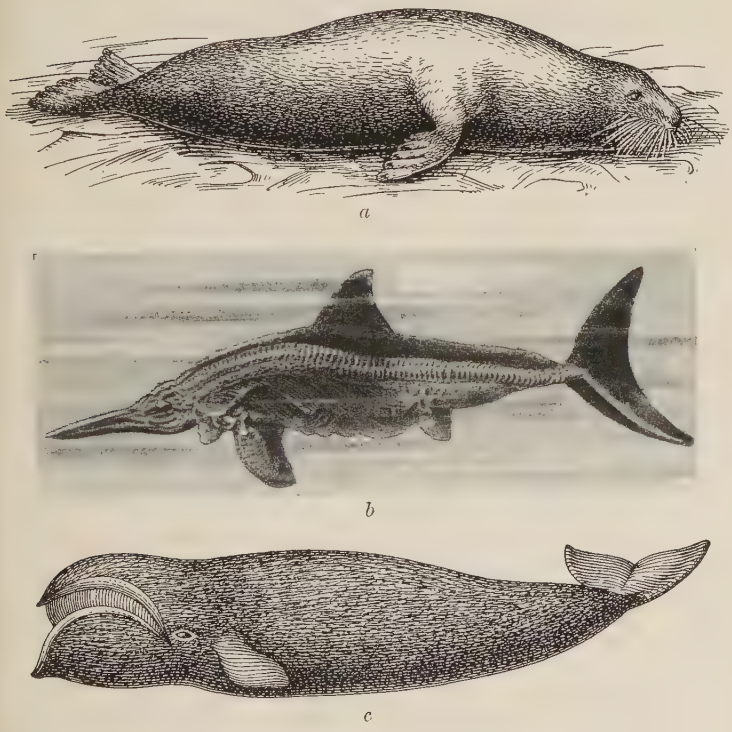


Abb. 15. Gestalt von Wassertieren verschiedener Klassen. *a* Seelöwe. *b* Vorweltliche Fischechse. *c* Walfisch.

höchst zweckentsprechend zu verhalten, wenn es äußere oder innere Verhältnisse erfordern. Darüber können wir uns leicht Rechenschaft geben, wenn wir uns die Frage vorlegen (das ist nun diesmal kein Scherz): Warum hat der Neger keine Wade? Es ist wohl bekannt, daß die Form einer Gliedmaße von ihren Knochen, Muskeln, Sehnen bedingt wird. Daß

unser Unterschenkel oben zu einer Wade anschwillt, unten aber sich verschmälert, obwohl der Knochen überall annähernd gleich stark ist, kommt vom besonderen Bau des Wadenmuskels, des Muskels, der beim Gehen und Springen unsere Ferse hebt. Sein Bau ist derart, daß der eigentliche tätige Muskel, das Wadenfleisch, oben in der Wade sitzt, während der ganze Rest bis zur Ferse hinab eine lange Sehne, die Achillessehne, darstellt (Abb. 16). Daß dem so ist, kann

Abb. 16. Wadenmuskel, Achillessehne und Fersenbein. *a* eines Negers, *b* eines Weißen.

man leicht erkennen, auch ohne in den Seziersaal des Anatomen zu gehen. Wir wissen ja alle, daß ein viel gebrauchter Muskel stärker wird, anschwillt; Läufer und Bergsteiger zeigen meist sehr starke Waden, während das Bein unterhalb der Wade gleich bleibt. In fast lächerlicher Weise mag man das gleiche an den Wagenziehern des fernen Ostens beobachten, die stundenlang in unermüdlichem Dauerlauf ihr Wägelchen über Berg und Tal ziehen. Diese braven und ge-

nügsamen Menschen — der verächtliche Beigeschmack des Wortes Kuli tut ihnen bitter Unrecht — zeigen oft eine solche Entwicklung der Waden bei größter Schmächtigkeit des Oberkörpers, daß ihre Figur dadurch geradezu grotesk erscheint. Ich habe nun niemals andere als chinesische, japanische und indische Wagenläufer gesehen und weiß nicht, ob es auch echte Neger gibt, die den anspruchslosen Beruf ausüben. Etwas ist aber sicher: sie würden niemals solche Waden entwickeln, denn der Bau ihres Wadenmuskels erlaubt es nicht. An Stelle des kurzen Muskelbauches und der langen Sehne haben sie nämlich einen schmalen gleichmäßigen Muskelbauch mit kurzer Sehne. Warum das wohl? Die Lösung ergibt sich aus einer Betrachtung des Fußes. Es ist sicher nicht schwer, sich den Fuß als einen Hebel vorzustellen, etwa wie den Wagebalken einer Dezimalwage mit dem Drehpunkt im Fußgelenk, einem kurzen Arm, nämlich der durch das Fersenbein gebildeten Ferse, und einem langen Hebelarm, dem Fuß. Wird das Fersenbein durch die Kraft des Wadenmuskels nach oben gezogen, so wird der Fuß hinabgedrückt. Beim Weißen ist nun das Fersenbein ziemlich kurz, beim Neger aber ziemlich lang. Wer sich klarmachen will, was das bedeutet, nehme einen Bleistift etwa 2 cm vom Ende zwischen die Finger und hebe das kurze Ende, bis sich die Spitze 5 cm geneigt hat. Dann führe man das gleiche aus, den Stift 4 cm vom Ende haltend. Da bemerkt man, daß im ersten Fall — der Fuß des Weißen — eine viel kürzere Bewegung zu machen ist als im zweiten — der Fuß des Negers. Würde der gleiche Versuch nun auch mit einer Eisenstange angestellt, so bemerkte man gleich, daß die erste Ausführung auch mehr Kraft erforderte. Für die gleiche Kraftleistung braucht deshalb der Weiße einen kürzeren, aber kräftigeren Muskel, der Neger einen langen, weniger starken. Nun erst kommen wir zu dem Punkt, der uns veranlaßte, uns für diese Wadengeschichte zu interessieren: Eine Katze hat einen Wadenbau wie ein Neger, also langes Fersenbein und langen Muskel mit kurzer Sehne. Wird nun die Hälfte des Fersenbeines wegoperiert und alles wieder schön verheilt, so daß jetzt ein kurzes Fersenbein wie beim Weißen vorhanden

ist, so antwortet der Wadenmuskel auch alsbald auf solche Veränderung, indem er sich in einen kurzen, langsehnigen Muskel wie beim Weißen umwandelt. Ist das nicht höchst zweckmäßig?

Da wir nun schon gerade bei den Knochen sind, so können wir noch einen der vielen Fälle betrachten, in denen äußere oder innere Veränderungen, besonders in mechanischen Verhältnissen, eine zielbewußte Antwort beim Lebewesen hervor-

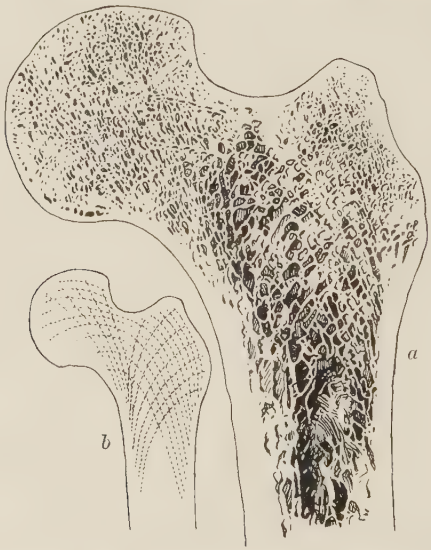


Abb. 17. Anordnung der Knochenbälkchen im durchschnittenen Kopf des Schenkelknochens.
a das Schnittbild, *b* Darstellung der Richtung der Bälkchen.

rufen. Es ist allgemein bekannt, daß eine neue Eisenbahnbrücke einer Belastungsprobe unterworfen wird. Was das bedeutet, kann man sich, auch ohne Ingenieur zu sein, einigermaßen vorstellen, wenn man all die eisernen Träger, Schienen, Rippen betrachtet, die nach genauester Berechnung so zusammengefügt sind, daß der gewaltige Druck von oben sich richtig verteilt, so daß das luftige Gitterwerk mehr zu tragen vermag als die schwerfälligste altmodische Konstruktion aus riesigen Quadern. Auch der Oberschenkelknochen

eines Menschen, der den schweren Druck des ganzen Oberkörpers zu tragen hat, ist eine Art von belasteter Brücke. Schneidet man ihn nun auf, so findet man im Innern ein ganz ähnliches Gerüstwerk aus Knochenbälkchen, deren Anordnung der Sachkundige sogleich anmerkt, daß sie genau so ist, wie sie der Ingenieur ausführen würde, wenn er die Aufgabe zu lösen hätte, den Knochen möglichst gut für die auszuhaltende Belastung zu konstruieren (Abb. 17). Nun kommt es manchmal vor, daß der Hals des Oberschenkels gebrochen wird und schief verheilt. Jetzt sind natürlich die Druckbedingungen völlig geändert und pünktlich werden die alten Bälkchen im Knochen aufgelöst und neue gebaut, die genau so angeordnet sind, wie es die veränderten Druckverhältnisse verlangen.

Erinnern wir uns nun, was uns diese Tatsachen lehren sollten. Sie sollten uns zeigen, daß dem Lebenden die merkwürdige Fähigkeit innewohnt, in zweckentsprechender Weise seine Form, wenn nötig, zu verändern. Nach dem Vorhergehenden erscheint denn der Gedanke gar nicht so unmöglich, daß wirklich der Druck des Wassers dem Fisch, dem Wal, dem Ichthyosaurus ihre Gestalt aufprägte wie der Stempel dem weichen Wachs. Ist das nun wirklich der Fall? Wir sind der Frage schon von verschiedenen Richtungen her begegnet und werden ihr noch öfters begegnen und immer wieder dieselbe Antwort haben: bis jetzt sind noch keine Tatsachen bekannt, die beweisen, daß eine solche Wirkung der Außenwelt auf die Nachkommen vererbt wird, eine notwendige Voraussetzung, wenn auf solche Art eine dauernde Formumwandlung vor sich gehen soll.

4.

Nun hat unser Spulwurm uns dazu geführt, uns über die Zweckmäßigkeit so mancher Tierformen zu unterhalten. Wollten wir aber versuchen, seine eigene Form ebenso zu verstehen, so wäre das durchaus verfehlt. Das wird sofort klar, wenn wir hören, daß seine genau gleichgestalteten Vettern aus dem Spulwurmgeschlecht im Schlamm der Teiche,

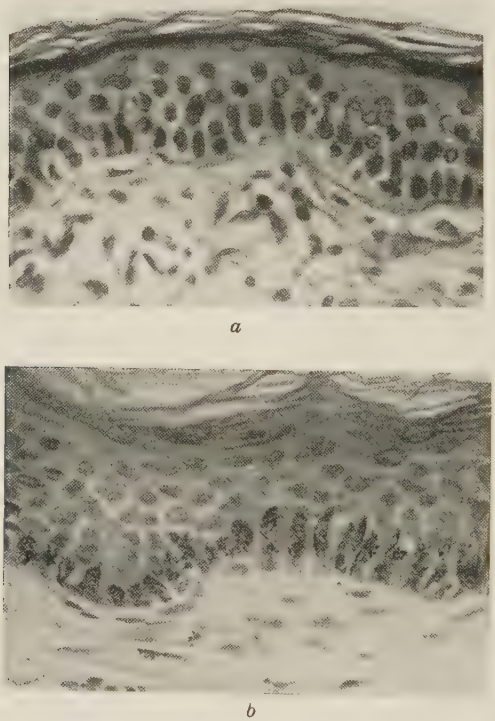
im Sande des Meeres, im Gewebe von Pflanzen, ja sogar im Essig leben. Das sind denn doch zu verschiedenartige Verhältnisse, um die gleiche Wirkung ausüben zu können. Muß denn nun wirklich jede Erscheinung ihre bestimmte Bedeutung, einen bestimmten Zweck haben? Wie es Gleichgültiges im Leben gibt, so auch in der Natur, so auch in den Formen der Tiere. Man könnte da die formenschaffende Natur mit einem Möbelschreiner vergleichen, der große und kleine, eckige und runde, glatte und mit Zierat überladene, praktische und unpraktische Stücke macht. Ein Schrank, der Vorräte in einem Magazin beherbergen soll, muß auf festen Füßen stehen, um nicht zusammenzubrechen und darf kein unnötiges Schnörkelwerk tragen, das doch bald abgestoßen würde. Ein Schrank aber für die „gute Stube" eines prunkvollen Hauses mag auf lächerlich dünnen Füßchen stehen und mit unnützem und gebrechlichem Schnitzwerk überladen sein (wenn das auch nicht gerade schön ist), er ist trotzdem vor schneller Zerstörung gesichert. Auch die Natur kann alle erdenklichen Formen ausführen und tut es auch. Einige können aber nur bestehen, wenn sie praktisch sind, sonst brechen sie unter ihrer Unfähigkeit zusammen, werden ausgetilgt. Die glücklicheren Besitzer aber anderer Formen sind in der Lage, keine Feinde zu haben, aus irgendwelchen Gründen in der wohlbehüteten guten Stube des Lebens zu hausen; sie können sich die unsinnigsten Formen, die phantastischsten Auswüchse und Zieraten leisten. Wie wahr das ist, kann man leicht an der alltäglichen Umgebung erkennen. Ein Dackel mit so verkrüppelten Beinen, daß er sich kaum fortschleppen kann, ein Haubenhuhn, dessen Gehirn sich durch den Schädel nach außen zwängt, ein Pudel mit seinem unsinnigen Haarwuchs, ein Schleierschwanzgoldfisch mit seinem Mopskopf, Stielaugen und nachschleifenden Flossen, all das ist lebensfähig in der behaglich geschützten Lage des Haustieres, fern von dem ausmerzenden Einfluß der natürlichen Feinde und dem Kampf um das tägliche Brot. In der Natur könnte Derartiges nicht bestehen, es sei denn in einer guten Stube des Lebens.

5.

Nun kehrt unser Blick von seinem Spaziergang über Länder und Meere wieder zu dem anspruchslosen Wurm auf unserem Arbeitstisch zurück und wir können uns vielleicht immer noch nicht eines gewissen Ekels erwehren. Dazu mag nicht wenig die blasse, weißliche Farbe beitragen, die für uns mit unangenehmen Beziehungen verbunden ist: blaß wie der Tod, weiß wie ein Leichentuch, der bleiche Schurke, auf dem Rasen bleichende Gebeine. Ein klein wenig Berechtigung haben schließlich solche Gefühle, denn die Blässe des Schmarotzers hängt wirklich damit zusammen, daß in sein dunkles Gefängnis kein belebender Sonnenstrahl dringt, denn Farbe ist im Bereich des Lebenden im allgemeinen an Licht gebunden. Zieht man eine Pflanze im dunklen Zimmer heran, dann bleibt sie weiß, bleichsüchtig. Eine arme Menschenblume, die im dunkeln Hinterstübchen heranwächst, ist so farblos durchsichtig, wie die bleichsüchtige Pflanze, wie der in ewiger Nacht lebende Eingeweidewurm, wie der Olm aus den dunkeln unterirdischen Grotten des Karstes, wie der Krebs aus den dunkeln Tiefen des altmodischen Ziehbrunnens. Aber bringe die blasse Pflanze ans Sonnenlicht, so ergrünt sie wieder, nimm das blasse Menschenkind aus den düsteren Höfen der Großstadt in Luft und Licht, so färben sich die blassen Wangen mit der Farbe des Lebens, halte das Höhlentier im Licht des Tages, so beginnt es sich allmählich zu färben. Was geht da wohl vor sich, was sind die Farben der Lebewesen, was bedeuten sie?

Vor uns liegen zwei Stückchen Haut, eines von einem blassen Großstadtkind, das andere von einem sonngebräunten Bergsteiger, und wir setzen uns nun an unser Mikroskop, zu sehen, wie sie sich unterscheiden. Da finden wir zuerst, daß die Haut, wie ja der ganze Körper, aus ungezählten kleinen Bausteinen, den Zellen, zusammengesetzt ist, die, wie Steine im Straßenpflaster, dicht zusammengefügt sind. Die einzelne Zelle erscheint wie ein blasses, durchsichtiges Glasklötzchen; wenigstens in der weißen Haut. In der gebräunten Haut aber ist sie angefüllt mit win-

zigen Körnchen einer schwarzbraunen Masse, nicht anders, als wenn die Zellen mit feinen Rußteilchen erfüllt wären (Abb. 18). Wir erkennen sogleich, daß dieser Schwarzstoff für die Farbe der Haut verantwortlich ist und ahnen, welche Bedeutung ihm zukommt. Es war kein Zufall, daß wir die



a

b

Abb. 18. Photographie von Querdurchschnitten durch die Haut von einem Weißen (*a*), einem Neger (*b*).

Schwarzstoffkörnchen mit Rußteilchen verglichen. Vor einen zu starke Hitze ausstrahlenden Ofen oder Lampe stellen wir wohl einen rußgeschwärzten Schirm, weil die Erfahrung uns lehrt, daß die Rußteilchen die strahlende Hitze aufsaugen und so unschädlich machen. Wer möchte wohl daran zweifeln, daß die kleinen Farbstoffteilchen in den Zellen der Haut

dasselbe tun und daß die in der Sonne sich bräunende Haut des Menschen oder des aus dem Dunkel der Höhlen ans Tageslicht gebrachten Tieres nichts anderes vollbringt als in ihrem Innern einen Rußschirm aufzustellen, der die strahlende Hitze verhindert, die zarten Teile in und unter der Haut zu verbrennen. Als lebenden Beweis nehme man die bronzefarbenen Gesellen tropischer Länder, die im glühenden Brand scheitelrechter Sonne nackt einhergehen. Wollten wir das mit unserer weißen, schwarzstoffarmen Haut versuchen, so müßten wir es mit einer schweren Verbrennung bezahlen.

Das ist nun recht interessant, aber es ist nur eine der vielen Fragen, die uns auf die Lippen kommen, wenn wir an die Farbe der Lebewesen denken. Da möchten wir z. B. wissen, warum der Laubfrosch grün ist oder wie es das Chamäleon im Zoologischen Garten macht, im Augenblick seine Farbe zu wechseln, oder wieso der Flügel der prunkvollen brasilianischen Schmetterlinge in allen Farben des Regenbogens schillert oder warum die Mäuse im Keller immer grau sind, während es beim Tierhändler solche in allen Farben gibt, und viele, viele andere Warums. Nun Geduld, wenn wir auch nicht alle erdenkbaren Fragen beantworten können, so sollt Ihr doch ein bißchen von allem Wichtigen erfahren, sicher genug, um Eure Lust zu weiteren Studien zu wecken.

Also wir möchten zunächst wissen, warum der Laubfrosch grün ist. Ja, ist er denn wirklich grün? Nehmen wir ihn einmal aus seinem grünen Laub heraus und setzen ihn auf braune Blätter: nun ist er plötzlich braun geworden! Ich glaube doch, daß es das Beste ist, wir legen auch seine Haut zuerst einmal unter das Mikroskop (Abb. 19). Nun wundern wir uns schon gar nicht mehr, daß sie wieder aus den zahllosen kleinen, kästchenartigen Zellen besteht. Aber zwischen ihnen erblicken wir gar merkwürdige Gebilde, die wie Spinnen mit langen Beinen ausschauen. Sie liegen ganz regelmäßig in dem Hautstückchen zerstreut, manche mehr nach oben, andere mehr in der Tiefe. Die letzteren aber sind vollgefüllt mit den uns jetzt wohlbekannten Schwarzstoffkörnchen, die anderen aber mit ähnlichen Körnchen, die mehr gelblich erscheinen. Der erfahrene Mikroskopiker kann ver-

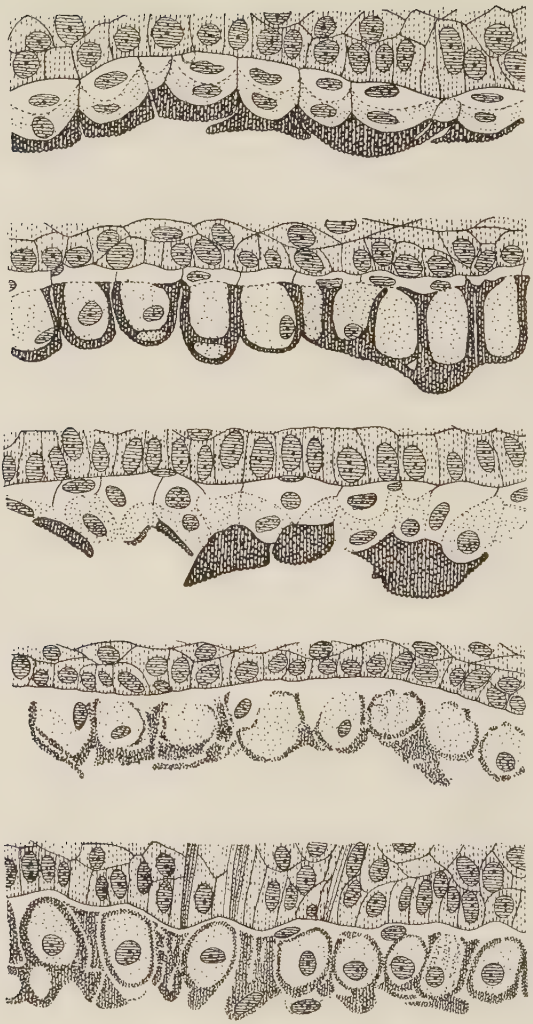


Abb. 19. Fünf Querschnitte durch die Rückenhaut des Laubfrosches, wie sie bei verschiedenen Farben des Tieres erscheint.
Von oben nach unten: Hellgrüne, dunkelgrüne, zitronengelbe, graugrüne, graue — schwarzgefleckte Haut. Man beachte die verschiedene Anordnung der unter der Oberhaut liegenden dunklen Farbmassen, die in verschiedener Weise die Schicht großer gelber Zellen umgreifen und durch verschiedene Anordnung von gelb und braun die verschiedenen Farben bedingen.

sichern, daß die spinnenförmigen Gebilde auch Zellen sind, Farbstoffzellen. Nun sehen wir aber auch einige, die nicht wie Spinnen oder Sterne erscheinen, sondern wie dichte Klümpchen, vollgefüllt mit Farbe. Würden wir aber noch genauer hinschauen, so fänden wir, daß es doch ebensolche Spinnen sind wie die anderen, nur daß die Farbstoffkörnchen sich alle im Leibe der Spinne angesammelt haben und keine sich mehr in den Beinen finden. Forschen wir mit genügender Geduld weiter, so lernen wir schließlich, daß in ein und denselben Zellen sich die Körnchen bald zu Farbstoffklumpen zusammenballen, bald zu dünner Schicht in die Strahlen des Sternes auseinanderfließen können. Man vergleiche sie etwa mit einem Regenschirm, der bald ausgebreitet, bald geschlossen ist. Ist der Schirm der äußeren braunen Körnchen ausgebreitet, so verdeckt er alles Darunterliegende und die Haut erscheint braun. Ist er aber geschlossen und sind die darunterliegenden gelbgrünen Schirme ausgebreitet, so scheinen letztere durch und die Haut ist grün. Und wenn die beiden Farbschirme hübsch zusammenarbeiten, so daß bald die einen, bald die anderen mehr oder weniger ausgebreitet sind, so mag ihr Wechselspiel zusammen mit den wunderbaren Eigenschaften des Lichtes noch alle möglichen anderen Farbtöne bedingen.

6.

Nun erinnern wir uns, daß der Frosch im grünen Laub grün und im braunen braun war, niemals aber umgekehrt. Wo ist da der Maschinenmeister, der das alles richtig in Bewegung setzt? Um auf die richtige Fährte zu kommen, gehen wir in das Eidechsenhaus oder das Aquarium des Zoologischen Gartens, oder besser in beides mit dem bösen Vorsatz, einmal das Verbot, die Tiere nicht zu reizen, zu übertreten. Da sitzt in seinem Glaskasten auf einem Zweig, ihn mit dem Schwanz und den sonderbaren Zehen umklammernd, das lächerlich aussehende grüne Chamäleon, seine Augen nach allen Seiten rollend auf der Suche nach wohlschmeckenden Mücken (Abb. 20). Nun klopfen wir an das Glas mit der bos-

haften Absicht, das Tier zu ärgern und alsbald fängt es an, sich zu verfärben. Blaue und rote Wellen huschen über seinen Körper und es fängt an, seine Farbe zu wechseln wie — ja wie ein Chamäleon. Nun steigen wir hinab ins Seewasseraquarium und sehen hinter einer Scheibe auf einem Stein den mißgestalteten Kraken mit seinen langen Fangarmen lauern, aus großen Augen boshaft blickend. Wir benehmen uns aber

Abb. 20. Chamäleon.

ebenso gesetzwidrig wie zuvor und reizen ihn. Das gleiche Schauspiel wiederholt sich: farbige Wellen laufen über seinen plumpen Körper und er wechselt vor Wut seine Farbe durch die ganze Leiter des Regenbogens. Nun kehren wir zufrieden in unser Arbeitszimmer zurück und stellen mit dem Mikroskop an geeigneten Präparaten fest, daß sich in der Haut dieser Lebewesen ganz ähnliche Farbzellen finden wie beim Laubfrosch. Hier aber sehen wir es mit eigenen Augen: das die Farbe verändernde Arbeiten der Zellen war hervorgerufen

durch eine Gemütserregung. Jedermann aber weiß, daß Erregungen mit den Nerven zusammenhängen: die Nerven üben also einen Einfluß auf die Bewegung der Farbkörnchen in den Farbzellen aus, deren Erfolg uns als Farbwechsel sichtbar wird. Die Nerven sind also wohl der gesuchte Maschinenmeister.

Als unser Laubfrosch aber im braunen Laub braun wurde, war er gar nicht geärgert worden und er nahm auch nicht eine beliebige Farbe an, sondern gerade die des Untergrundes. Sein Maschinenmeister mußte da also wohl einen ganz bestimmten Auftrag erhalten haben. Von wem? Der Abwechslung halber wollen wir diese Frage nicht an den Frosch, sondern an ein kleines Fischchen, die Elritze, richten, die uns die Antwort für beide und noch viele andere Tiere geben kann. Sie schwimmt in einem Glasbecken mit Wasser auf unserem Tisch und ist etwa hellbraun gefärbt. Nun schieben wir ein gelbes Papier unter die Schüssel und in kurzem erscheint das Fischchen gelb; wir ersetzen das gelbe Papier durch ein schwarzes und die Elritze wird alsbald schwarz. Sie hat also sichtlich die gleichen Fähigkeiten wie der Laubfrosch. Nun nehmen wir sie heraus und verkleben ihr die Augen lichtdicht und wiederholen dann den gleichen Versuch. Merkwürdig genug, jetzt schlägt er fehl! Wir wissen somit, daß die Augen es sind, die dem nervösen Maschinenmeister es mitteilen, welche Farbe er erscheinen lassen soll. So arbeitet also im großen ganzen — gar viele Feinheiten haben wir nicht Zeit, zu erwähnen — die selbständige Farbenanpassung an die Umgebung.

Wir sagten soeben selbständige Anpassung; es gibt nämlich noch eine andere Art der Farbenanpassung an die Umgebung, die ein für allemal festgelegt, angeboren ist. Erinnern wir uns noch an die grünen Heuschrecken des Grases und die steinfarbenen von Arizona? Ganze Bücher könnten mit Ähnlichem angefüllt werden; da sind Wüstentiere, deren Farbe nicht vom Wüstensand zu unterscheiden ist; die schneeweißen Bewohner der Region des ewigen Schnees; Käfer und Schmetterlinge, deren Farbe genau der Baumrinde, der Flechte, dem dürren Blatt, auf dem sie sitzen, gleicht. Gar

nicht zu reden von solchen, deren Form mit der Farbe zusammen die Umgebung nachahmt: Schmetterlinge und Heuschrecken, die in Form, Farbe, Zeichnung sich kaum von

Abb. 21 a. Stabheuschrecke auf dürren Ästen sitzend, von denen sie sich kaum unterscheidet.

einem Blatt unterscheiden; Heuschrecken, Wanzen, Spannraupen, die das schärfste Auge nur schwer von einem dürren Ast unterscheidet (Abb. 21). Man muß diese Wunder der Anpassung durch Ähnlichkeit in der freien Natur gesehen haben,

um ihrer Vollkommenheit gerecht zu werden. Nie vergesse ich den Eindruck, den mir der erste solche Fall außerhalb der täglichen Umgebung machte, als ich als junger Student zum erstenmal die Wunder der Tierwelt des Meeres studieren konnte. Ich hatte vor mir einen jener entzückenden kleinen Korallenstöcke des Mittelmeeres, auf dessen rosenrotem Fleisch die Polypen wie gelbe Sternchen eingestreut sind. Plötzlich

Abb. 21 b. Vier Exemplare der Krabbe Huenea auf Algen, die sie imitiert.

fing ein Stück des Stöckchens an sich fortzubewegen und ich erkannte, daß hier auf der Koralle eine kleine Schnecke mit ovalem Gehäuse saß, die ich vorher nicht bemerkt hatte. Haus und Tier hatten genau die Farbe der Koralle und das Haus war mit gelben Flecken gesprenkelt, zum Verwechseln den Sternen der Korallenpolypen ähnlich.

Wie in aller Welt kommt nun solches zustande? Wer wis-

sen will, wie man es früher deuten zu können glaubte, der lese nochmals das Geschichtchen aus meiner Gymnasiastenzeit, das ich früher erzählte: wie die besser angepaßten Individuen vor ihren Feinden besser geschützt waren und erhalten blieben, ihre Eigenschaften weiter vererbten und sich so immer mehr vervollkommneten. Auf wie schwachen Füßen solche Erklärung steht, zeigt eine einzige Frage: Wie konnte die Anpassung das Tier beschützen, bevor sie so vollkommen war, daß die Unterscheidung von der Umgebung unmöglich wurde? Wir wollen so ehrlich sein zuzugeben, daß eine vollständig befriedigende Lösung der Frage noch nicht gefunden ist.

7.

Nun wollen wir aber das Kind auch nicht mit dem Bade ausschütten und einfach leugnen, daß bei der Entstehung der Erscheinung der Farbanpassungen — und so vieler anderer Anpassungen — die Ausmerzung der weniger günstig Gestellten eine Rolle gespielt habe. (Das ist jetzt die Frage, warum die Mäuse grau sind.) Ein volkstümliches Wort spricht von „auffallend wie ein blauer Hund". Ich weiß nicht, ob in der Natur je ein blauer Hund entstanden ist. Dagegen ist es sicher, daß gelegentlich schwarze, braune, blaue, gelbe, silberfarbige, gescheckte, weiße Mäuse entstehen. Sicher ist es ferner, daß der Liebhaber diese und andere Rassen leicht halten und vermehren kann, wie er es auch mit einem blauen Hund könnte. Ebenso steht es aber fest, daß sie sich in der freien Natur nicht halten und vermehren könnten, sondern immer wieder ausgemerzt werden. Sie sind sichtlich so auffallend, daß sie schnell von ihren Feinden ausgetilgt werden, wenn nicht sogar die eigenen Geschwister den Bruder, der sich mit seinem bunten Rock mausig macht, umbringen. Es braucht wohl kaum an die bunten Uniformen der Soldaten in Friedenszeiten und die der Farbe des Erdbodens gleichende im Kriege erinnert zu werden. In der Natur aber herrscht fast immer Krieg, einer frißt den anderen. Da, wo aber durch besondere Umstände dauernder Friede verbürgt ist, erschei-

nen auch Uniformen, die an Buntheit selbst die der Operette übertreffen. In geradezu phantastischer Weise ist das in jener Lebensgemeinschaft allen möglichen Getiers zu sehen, die sich dicht unter der Oberfläche warmer Meere zwischen den Blöcken der Korallenriffe angesiedelt hat. Nicht umsonst werden diese Riffe mit all ihren Miniaturbergen, Tälern, Felszacken, zwischen die nicht leicht ein räuberischer Haifisch eindringen kann, als die Blumengärten des Meeres bezeichnet. Unter den vielen Schönheiten der Tropenwelt wüßte ich keine, die das Auge des Naturforschers mehr entzückt. Lautlos gleitet der Einbaum, von einem braunen Naturkind gepaddelt über die spiegelglatte See und durch den Eimer mit Glasboden, der die verzerrende Wirkung der Wasseroberfläche verschwinden läßt, staunen wir andächtig die Wunder der Tiefe an. Zwischen den bunt durcheinander gewürfelten Korallen, denen keine Form oder Farbe undenkbar erscheint, sitzen, hängen, schwimmen alle möglichen Arten von Lebewesen, miteinander in glühenden Farben wetteifernd. Den Sieg tragen jedoch die zahllosen Fische und Fischchen davon, die bald einzeln, bald in Schwärmen einherhuschen. Da kommt ein ganzer Schwarm, schillernd wie blaue Türkisen, dort schwimmt bedächtig ein größerer Geselle herum, über seinen Körper eine vierfarbige Schärpe geschlungen; ein anderer zeigt uns einen mit roten und silbernen Längsstreifen bedeckten Rücken und bei einer Wendung zeigt er die wie ein Zebra gestreifte Brust. Jeder, der da angeschwommen kommt, hat eine neue Überraschung, ein anderes Muster in der farbenfrohen Mode. Dies ist wahrhaft eine „gute Stube des Lebens".

Wieviel gäbe es noch von den Farben der Tiere zu erzählen! Aber noch so viele andere Fragen erwarten uns, daß wir uns bescheiden müssen. Nur noch ein Wort über die schillernden Farben so mancher Schmetterlinge und der Schmetterlinge unter den Vögeln, der Kolibris, der Paradiesvögel, des Pfaus. Vergeblich würden wir in ihren Flügeln nach Farbstoffkörnchen suchen, die die schillernde Pracht verursachen. Habt Ihr schon einmal ein Stück Marienglas in der Hand gehabt, jenes Gipsgesteins, das aus unzähligen, unend-

lich dünnen Blättchen zusammengesetzt ist? Oder habt Ihr einmal in einem Museum eines jener aus uralter Vorzeit erhaltenen Gläser gesehen, die unversehrt aus dem Schutt der Jahrtausende ausgegraben werden? Beide zeigen denselben in den Farben des Regenbogens schimmernden irisierenden Glanz wie jene Flügel und Federn, ohne daß sie irgendwelchen Farbstoff enthalten. Es ist nur die besondere Art der Lichtbrechung in den unendlich dünnen, geschichteten Blättchen, die das Farbenspiel erzeugt. Die schillernden Federn und Schmetterlingsschuppen aber sind auch so gebaut, daß sie die gleiche Lichterscheinung hervorrufen.

In einem Anatomiekurs kann man sehr leicht ordentliche und unordentliche Studenten unterscheiden. Tritt man kurze Zeit nach Beginn zu dem letzteren heran, so hat er bereits das ganze Tier in seiner Präparierschale unwiederbringlich in kleinste Teile zerlegt oder richtiger gesagt, zersäbelt und behauptet, alles gesehen zu haben. Der ordentliche aber ist noch nicht richtig damit fertig, seinen Gegenstand gründlich von außen betrachtet zu haben. Waren wir nicht bis jetzt recht brave Studenten?

Dritter Abschnitt.

Nun wollen wir aber mit dem Aufschneiden des Wurmes Ernst machen und setzen unser Messer an, nachdem wir ihn mit Chloroform getötet. Erst begegnet es starkem Widerstand, aber dann dringt es in weiches Gewebe ein und wir zögern einen Augenblick und sagen uns: „Jetzt haben wir die Haut durchschnitten. Also ein Wurm hat auch eine Haut; schließlich ist das selbstverständlich, denn alle Tiere haben eine Haut, sie müssen doch irgendwie nach außen begrenzt sein, sonst fallen sie ja auseinander, genau wie eine Wurst eine Haut haben muß, um zusammenzuhalten. Doch halt, so ganz stimmt das doch nicht; ein abgehäuteter Hase fällt auch nicht auseinander und es gibt auch Würste ohne Haut."

Nun, bleiben wir einmal bei der Wurst und ihrer Haut, die schon ihre Bedeutung hat. Wer in südlichen Ländern gereist ist, weiß, daß dort auch das Speisefett in eine Wursthaut eingenäht verkauft wird. Die Absicht dabei ist natürlich, es vor schnellem Verderben zu schützen. Was heißt das aber, Wurst oder Fett verdirbt? Nichts anderes, als daß Bakterien hineingedrungen sind, jene unendlich kleinen Pilzchen, deren Myriaden überall auf Nahrung lauern und angreifen, was nicht geschützt ist. Gehören sie zu der häßlichen, aber im Naturhaushalt gar notwendigen Gruppe der Fäulnisbakterien, so ist es ihre Lieblingstätigkeit, aus der lebenden Natur kommende Stoffe, wie etwa Fleisch, in seine chemischen Bestandteile zu zerlegen. Und da dieses dabei allmählich seine Form verliert und manche der freiwerdenden Stoffe recht übel riechen, so sagen wir: das Fleisch fault. Die Haut der Wurst soll aber verhindern, daß die gefräßigen Bakterien zum Fleisch hindringen und sie erfüllt zweifellos ihre Aufgabe sehr gut. Genau das gleiche ist aber eine der vielen Aufgaben, die die Haut der Tiere erfüllt, wie wir alle wissen, wenn wir nur ein wenig nachdenken.

Das Kind hat sich eine Wunde ins Knie geschlagen, d. h. die Haut wurde beim Fallen abgeschürft und die darunterliegenden Gewebe liegen frei. Schleunigst reinigt die Mutter die Wunde mit einem desinfizierenden, d. h. bakterientötenden Stoff. Solange die Haut unversehrt war, konnte das Kind ungestraft am Boden spielen, denn durch die lebende Haut dringen die überall im Schmutz lauernden Bakterien nicht ein. Ist aber die schützende Haut fort, so machen sie sich alsbald ungehindert breit, falls sie nicht gleich getötet und andere durch einen bakteriendichten Umschlag ferngehalten werden. Sonst vermehren sie sich in kürzester Zeit in unglaublicher Weise und der Körper wird gezwungen, einen ernsten Kampf gegen das Heer der Eindringlinge zu führen. Zu diesem Zweck schickt er ihnen seine eigenen Truppen entgegen. Aus allen Spalten kommen sie plötzlich herausgekrochen, winzig kleine Zellen, die an zarten Fortsätzen, die wie Wurzeln von ihrem Leib auswachsen, sich entlangziehend dahinkriechen. Das sind die Freßzellen und ihre

Waffe ist ihre Gefräßigkeit. Sie stürzen sich auf die Bakterien und verschlingen sie, um sie unschädlich zu machen (Abb. 22). Bald sind solche Massen von Freßzellen zusammen, daß sie die wäßrige Flüssigkeit, die sich bei der Wunde ansammelt, gelb färben, und die besorgte Mutter sagt: die Wunde eitert. Schließlich aber siegen doch die Truppen des Körpers und der Bakteriensturm ist abgeschlagen. Zum guten Glück, denn sonst möchten die Feinde in den Körper

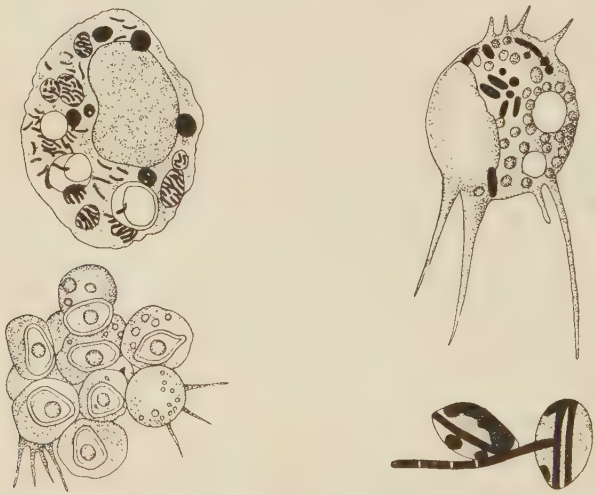


Abb. 22. Freßzellen verschiedener Tiere mit dem Vertilgen von Bakterien beschäftigt.

gelangen, sich mit dem Blutstrom verbreiten, eine Blutvergiftung hervorrufend. Glücklicherweise aber wird der Eiter aufgesaugt und neue, schützende Haut wächst über die Wunde hinweg.

1.

Da stehen wir nun gleich wieder vor einer neuen Fähigkeit der Haut, nach Zerstörung sich wieder zu ersetzen. Merkwürdig, wie wenig man auf das Nächstliegende zu achten pflegt. Als wir gelegentlich erwähnten, daß einem Salaman-

der bei Verlust eines Beines ein neues nachwächst, machte das uns sicher den Eindruck einer sehr interessanten Erscheinung. Das ist aber, allgemein betrachtet, nicht sehr wesentlich verschieden von dem, was geschieht, wenn ein Stückchen Haut nachwächst. Das Erstaunliche liegt doch darin, daß gerade das Richtige, in seiner richtigen Lage und in seinen richtigen Gesamtbeziehungen zur Umgebung gebildet wird. Das hat denn auch den Naturforschern viel zu denken gegeben und bei der Erforschung kamen viele gar merkwürdige Dinge zutage.

Als ich ein kleiner Junge war, erzählte mir mein älterer Bruder, daß in jedem Wassertropfen unendlich viele winzig kleine Lebewesen sich herumtummelten, die etwa wie kleine Menschlein aussehen, aber sehr viele Beinchen besitzen, die sie sich fortgesetzt gegenseitig ausreißen. Sie wachsen aber immer wieder gleich nach. Das machte einen unauslöschlichen Eindruck auf mich und kommt mir jetzt wieder ins Gedächtnis, wo ich etwas vom „Beinausreißen" berichten will, das nicht minder absonderlich klingt als jene kindlichen Phantasien. Jenem Salamander, von dem wir sprachen, mag es in der Natur auch vorgekommen sein, daß ein Feind ihn beim Bein erwischte und es ihm schließlich gelang, sich nur unter Verlust eines Beines aus dem Staub zu machen. Nun gibt es aber eine ganze Reihe von Tieren, aus dem Reich der Insekten vor allem, die sich geradezu darauf eingerichtet haben, ihr Leben mit dem Verlust eines Beines zu erkaufen. Bei ihnen findet sich, da wo das Bein in den Körper übergeht, eine kleine Zone, die so gebaut ist, daß das Glied leicht abbrechen kann, ohne daß der übrige Körper Schaden leidet (Abb. 23). Bei manchen geht das sogar so weit, daß sie selbst ein Bein wegwerfen können, wenn es nötig erscheint: sie verstümmeln sich selbst, um einer Gefahr zu entgehen, etwa so, wie in früheren Zeiten junge Leute sich verstümmelten, um dem Militärdienst zu entgehen. Diese mußten dann allerdings ihr Leben lang ohne Zeigefinger oder Schneidezähne herumlaufen, während viele unserer Insekten nach einiger Zeit wieder ein neues Bein ihr eigen nennen.

Das ist nun nur ein Fall der Wiedererzeugung von Verlorenem; gar manche andere ließen sich ihm zufügen. Schon früher hörten wir von dem Krebs, dem an Stelle eines abgeschnittenen Augenstiels ein Fühlhorn nachwächst. Wenn es auch merkwürdig genug ist, daß hier etwas ganz anderes nachwächst als was abgeschnitten war, so war doch immerhin etwas Bestimmtes entfernt worden. Oft genügt es aber auch, nur eine Wunde an geeigneter Stelle anzubringen, um ein Lebewesen zu veranlassen, sich genau so zu verhalten, als ob ihm etwas weggeschnitten sei. Wenn etwa einem jungen Fröschchen ein ganz bestimmter Schnitt im Bekken beigebracht wird, so wächst aus der Wunde ein richtiges Bein heraus, und es gelingt unschwer, solchergestalt einen Frosch mit drei oder mehr Beinen zu erzeugen (Abb. 24). Die allerunerwartetsten Dinge lassen sich aber in solchen Versuchen mit kleinen Strudelwürmern machen, jenen kleinen länglichen Scheibchen, die man leicht im Bach unter Steinen finden mag. Wird etwa ihr Kopf mit einem scharfen Schnitt der Länge nach gespalten, so wachsen nicht die beiden Hälften wieder zusammen, sondern an jeder Schnittfläche ergänzt sich die Hälfte zu einem ganzen Kopf und man erhält ein Tier mit zwei Köpfen. Oder man schneidet seitlich am Körper ein kleines dreieckiges Stück heraus und

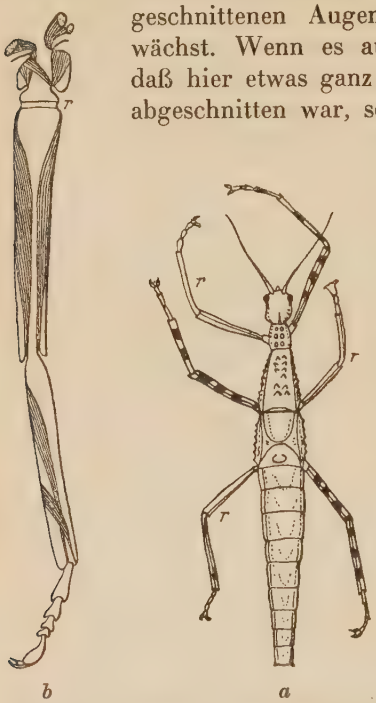


Abb. 23. *a* Weibchen einer Gespenstheuschrecke mit drei neugebildeten Beinen (*r*). *b* Bein einer Gespenstheuschrecke mit der Stelle (*r r*), an der das Abbrechen erfolgt. Schraffiert die Beinmuskeln.

alsbald wächst aus dieser Wunde ein neuer Kopf (Abb. 25). Wie unmöglich erschien uns das griechische Fabelwesen Hydra, dem Herkules die Köpfe abschlug, die alsbald wieder nachwuchsen. Eigentlich vollbringt der wirkliche Strudelwurm viel Fabelhafteres.

Wie in allem, so ist auch hierin die Natur unerschöpflich in ihren Erscheinungen und dicke Bücher sind angefüllt worden mit Tatsachen und Versuchen, die hierher gehören. Auch allerlei Gedanken hat man sich darüber gemacht: etwa darüber, wie die Neubildung von vorhandenen Teilen von ihrer Lage und Zusammensetzung abhängt, wie sie von äußeren Einflüssen wie Licht oder Schwerkraft gelenkt wird, wie sie sich durch bestimmte Bedingungen in bestimmte Bahnen drängen läßt. Auf alle solche und noch viele andere Fragen zu antworten, zwingen die Forscher die Natur. Wir aber müssen uns hier mit dem Gehörten bescheiden. Wir hatten uns ja eigentlich nur gewundert, daß ein abgeschundenes Stückchen Haut wieder nachwächst zum Wohl des Körpers, der so vor seinen kleinen Feinden geschützt wird.

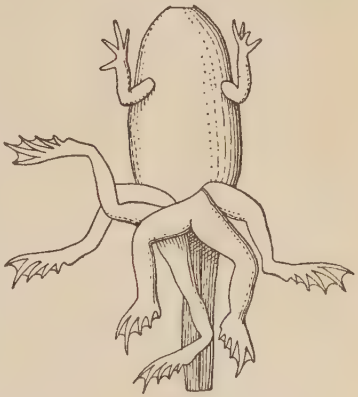


Abb. 24. Junge Kröte mit vier durch Einschnitte im Becken erzeugten überzähligen Extremitäten.

2.

In Bildergalerien sieht man gelegentlich alte Darstellungen der Sage von Marsyas, dem Apollo zur Strafe die Haut abzieht und Marsyas scheint dabei auch ohne Haut sich gar nicht so schlimm zu fühlen, wie man erwarten sollte. Das paßt nun sichtlich gar nicht zu unseren täglichen Erfahrungen. Wie oft lesen wir von unvernünftigen Menschen, die Petroleum in den Ofen gießen und ihre Dummheit mit

schweren Verbrennungen bezahlen müssen. Sind dann sehr große Flächen der Haut zerstört, so ist der Unglückliche verloren. Warum das der Fall ist, auch wenn die Wunden sorgfältig vor jedem Bakterienüberfall geschützt sind, ist eine gar merkwürdige Sache, soweit sie klar ist. Eine der eigenartigsten Fähigkeiten des Körpers ist es, starke Giftstoffe unter bestimmten Umständen liefern zu können, die man Toxine nennt. Wir werden noch Interessantes von ihnen erfahren. Gelegentlich werden nun diese bösartigen Dinge erzeugt, wenn durch irgendeinen Eingriff der übliche Gang der Ereignisse im Körper gestört ist, etwa nach einer Operation oder, wie hier, nach einer Hautverbrennung. Da begeht dann der Körper in einer ganz widersinnigen Weise Selbstmord. Im Fall des Verbrennens der Haut kann das aber oft verhindert werden, wenn rechtzeitig für neue Haut gesorgt wird. Ein anderer läßt ein Stück seiner eigenen Haut herausschneiden, das dann auf die hautfreie Stelle des Patienten aufgelegt wird und dort anheilt „als wär's ein Stück von mir".

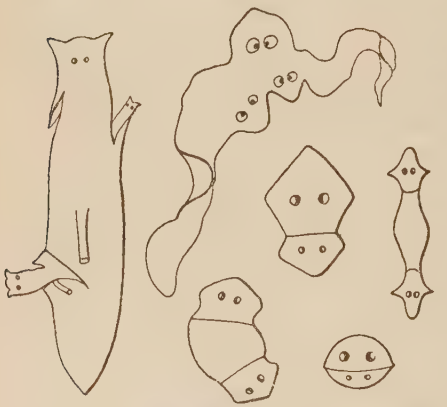


Abb. 25. Strudelwürmer, die nach verschiedenartigen Einschnitten überzählige Köpfe gebildet haben. Zwei Augen kennzeichnen je einen Kopf.

Da stehen wir denn wieder vor einer neuen Fähigkeit der Haut, auf einem fremden Körper wachsen und sich ihm einverleiben zu können. Der Gärtner wird dies vielleicht nicht so bemerkenswert finden. Denn eigentlich sieht er das gleiche und mehr alltäglich, wenn er ein Edelreis aufpfropft oder wenn er eine Knospe okuliert, wo es sogar ein ganzer Körperteil, sozusagen mit Haut und Haaren ist, der auf einem anderen Stamm aufwächst. Aber gar manches erstaunt uns

nicht, wenn wir es bei einer Pflanze sehen, und kommt uns erst so recht in seiner Bedeutung zum Bewußtsein, wenn das Tier es zeigt. Wie dem auch sei, bleiben wir einmal bei der Haut und beginnen gleich mit einigen ihrer bemerkenswertesten Leistungen.

Ein jeder weiß, daß sich im Auge eine Linse findet, die ein Bild auf dem Hintergrund des Auges in ähnlicher Weise entwirft, wie es die Linse des photographischen Apparates auf der Mattscheibe tut. Weniger bekannt ist es aber, wie jene Linse sich im ungeborenen Wesen bildet. Man denke sich etwa das Hühnchen im Ei zu einer Zeit, wo man in dem schildförmigen Gebilde, das auf dem gelben Dotter schwimmt, kaum das zukünftige Kücken erkennen möchte. Um diese Zeit hat das keimende Wesen bereits ein Hirn entwickelt, das wie eine einfache Blase erscheint. Aus dieser wächst nun jederseits ein Gebilde heraus, das etwa einem Weinglas gleicht, mit dem Stiel an der Gehirnblase sitzend und mit dem Becher nach der Haut zu vordringend; denn eine Haut ist auch schon da (Abb. 26). Wenn nun die Öffnung des Glases — das ist die spätere Pupille — die Haut erreicht hat, beginnt diese an genau der Stelle napfartig einzusinken und dann sich wieder so zu schließen, wie wenn man einen Tabakbeutel mit einer Schnur zuzieht. Nun liegt der abgeschnürte Hautbeutel oder Napf unter der Haut, die wieder darüber zugewachsen ist. Dieser Beutel, wie eine flache Blase aussehend, ist nichts anderes als die junge Linse. Geduldige und geschickte Forscher haben es nun fertig gebracht, einem nur wenige Millimeter großen, in der ersten Entwicklung befindlichen Fröschchen das winzige Stückchen Haut herauszuschneiden, aus dem sich die Linse bilden sollte. Dann operierten sie aus der Bauchhaut eines anderen Lärvchens ein ebenso großes Stückchen Haut heraus und heilten es dort am Kopf an Stelle des linsenbildenden Hautstückchens an. Und siehe da, die Bauchhaut, die sonst ihr Leben lang nichts als Bauchhaut geblieben wäre, fügte sich so verständnisvoll der neuen Umgebung ein, daß sie nun ihrerseits die Linse ganz richtig bildete. Ein solches überpflanztes Körperstückchen vermag also nicht nur einzu-

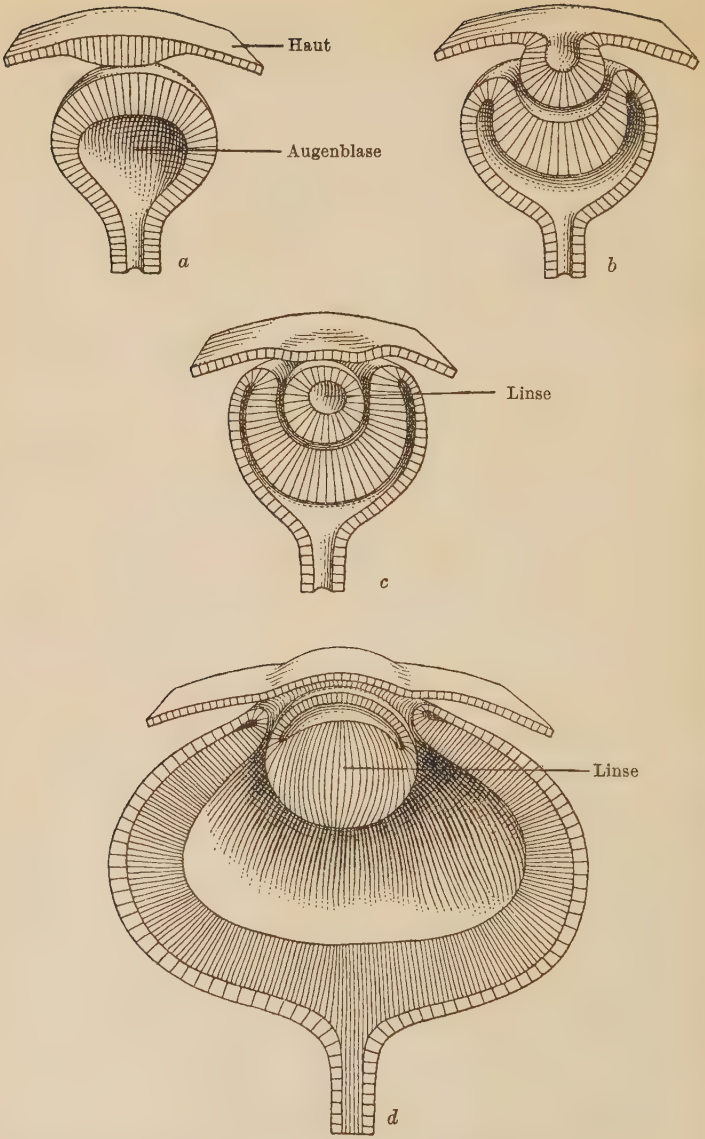


Abb. 26. Entwicklung der Augenlinse aus der Haut in vier Etappen. Das Organ ist so halbiert, daß man von innen auf die eine Hälfte schaut.

heilen, sondern auch gänzlich neue und unerwartete Pflichten, die der Zwang der Umgebung ihm auferlegt, zu erfüllen.

Nun wollen wir dem auf seine Pfropfungen stolzen Gärtner auch noch verraten, daß man auch Tiere in ganz ähnlicher Weise aufeinanderpfropfen kann, wie seine Reiser. Das Ergebnis ist nicht wesentlich anders und doch spricht es unsere Phantasie viel mehr an als die auf den Wildstamm gepfropfte Edelrose. Niemand wird eine solche als etwas Besonderes und Wunderbares anschauen. Wie aber, wenn unsere Augen eine lebende Sphinx erblickten, vorn Mensch, hinten Löwe, oder die Chimäre der Sage „vorn ein Löwe, hinten ein Drache, in der Mitte eine Ziege"? Ganz soviel kann nun zwar der Naturforscher nicht vollbringen, aber es genügt wohl, wenn er uns einen Frosch vorführt, der aus zwei ganz verschiedenen Arten zusammengesetzt wurde, etwa die vordere Hälfte ein brauner Grasfrosch und die hintere ein grüner Wasserfrosch (Abb. 27). Danach erscheint die Sphinx wenigstens nicht so durchaus unmöglich. Gewiß, je weiter verwandt zwei Lebewesen sind, um so schwerer ist es, sie zusammenwachsen zu lassen. Aber das muß auch seine Gründe haben, die sich beseitigen ließen, wenn wir sie genau kennten. In einem gar merkwürdigen Fall scheint das sogar geglückt zu sein. Man hat herausgebracht, daß alle möglichen Gewebe, z. B. ein Stück Kaninchenleber, in frische bebrütete Hühnereier überpfropft werden können, in denen sie schön weiterwachsen. Das dauert aber nur bis zu einem bestimmten

Abb. 27. Verschiedene Wachstumsstadien einer Kaulquappe, die aus zwei verschiedenen Froscharten, kenntlich an der verschiedenen Farbe, zusammengesetzt wurde.

Augenblick an, dem 19. Bebrütungstag. Dann hört plötzlich das Wachstum auf und das überpflanzte Stück geht zugrunde. Als Ursache wurden jene kleinen Freßzellen festgestellt, die wir ja schon in ihrem Kampf mit den Bakterien beobachteten. Sie kommen am 19. Bebrütungstag zur Entwicklung und stürzen sich sofort auf den fremden Eindringling, ihn zu vernichten. Der Forscher ist aber auch diesen Kämpfern gewachsen. Er weiß, daß man sie mit Röntgenstrahlen totschießen kann. Geschieht dies, dann wächst das fremde Pfropfgebilde auch nach dem 19. Tage, sogar auf dem ausgeschlüpften Hühnchen, weiter. Ist es da noch weiter verwunderlich, daß man einem Menschen anstatt eines kranken Gelenkes das lebensfrische eines Tieres einsetzen kann, oder daß man die dem Körper entnommenen Gewebe im Glas auf dem Arbeitstisch weiter zu züchten vermag? Wer ist da so schwerfällig, daß er nicht im Geiste den Sprung bis zur Sphinx oder Ganescha, dem indischen Gott mit dem Elefantenkopf, zu machen vermöchte?

3.

Nun wollen wir aber wieder zu der Haut zurückkehren, die uns noch lange nicht alles gestanden hat, was sie zu leisten vermag. Schon zweimal wurde ihr das Geständnis auf dem mittelalterlichen Weg der Folter abgerungen, als sie abgeschabt und verbrannt wurde. Nun wollen wir sie auf eine neue Art außer Tätigkeit setzen, um zu sehen, wie dann der übrige Körper leiden muß. Vielleicht hat der eine oder andere von jenem Festzug des prunkliebenden Florentinerfürsten gelesen, in dem ein über und über vergoldetes Kind mitgeführt wurde; am Abend war das Kind gestorben. Wir wissen nicht genau, was die Todesursache war, vielleicht die gleiche Vergiftung wie bei der Verbrennung der Haut. Aber wir wissen, daß es viele Lebewesen gibt, die, in ähnlicher Lage wie das unglückliche Kind, auf eine uns wohl unerwartete Weise zugrunde gehen würden: durch Erstickung. Man hat etwa den Versuch gemacht, einem Frosch die ganze Haut luftdicht zu lackieren; das Tier erstickte, obwohl es

doch seine Lungen zum Atmen hatte. Da stehen wir nun vor einer der allerursprünglichsten Aufgaben der Haut, einer Aufgabe, die sie allerdings bei höheren Tieren nicht mehr erfüllt, dem Körper die nötige Atemluft zuzuführen. An und für sich betrachtet erscheint das auch gar nicht so fernliegend, ist doch die Haut der Luft am nächsten. Da wollen wir uns aber einmal fragen: Atmen, Atemluft, Ersticken, das sind Worte, die wir tagtäglich anwenden; sind wir uns aber auch klar darüber, was sie bedeuten? Seien wir ehrlich: Nein. So wollen wir uns denn zunächst einmal darüber klar werden.

Dort brennt in der Schmiede ein lustiges Feuer und daneben steht der rußbedeckte Schmied, den Blasebalg ziehend, um die Glut dauernd anzufachen. Was geht da vor sich, wenn die Kohlen verbrennen und wozu die Luftzufuhr durch den Blasebalg? Kohle besteht, wenn sie ganz rein ist, aus Kohlenstoff und verbrennt ohne irgend etwas zurückzulassen. Wir verbrennen sie unter einem Kamin, um die bei der Verbrennung gebildeten Gase aufzufangen und fortzuleiten. Die feste Kohle hat sich also bei der Verbrennung in ein Gas verwandelt. Schließen wir die Kohle von der Luft ab oder erneuern diese nicht genügend — dazu der Blasebalg —, dann kann sie auch nicht verbrennen. Dazu muß also wohl etwas nötig sein, was in der Luft enthalten ist; es ist bekannt, daß dies Etwas ein Gas ist, Sauerstoff genannt. Man braucht nun nur mit den Hilfsmitteln des Chemikers das Gas zu untersuchen, das nach der Verbrennung durch den Kamin fortgeführt wird, um zu erfahren, was vor sich gegangen ist. Da findet man, daß dies Gas aus Kohlenstoff und Sauerstoff besteht. Die Kohle hat sich somit mit dem Sauerstoff der Luft verbunden und dabei in ein Gas, Kohlensäure genannt, umgewandelt. Verbrennen erweist sich somit hier als nichts anderes als die Herbeiführung einer Verbindung von Kohlenstoff und Sauerstoff. Schließt man den Sauerstoff ab, so muß die Verbrennung aufhören, die Flamme „erstickt".

Merkt Ihr schon, wo wir hinauswollen? Nur noch ein wenig Geduld. Ein Kohlenfeuer erzeugt zugleich auch Hitze, es wird also Wärme gebildet, wenn jener chemische Vor-

gang der Vereinigung von Kohlenstoff und Sauerstoff stattfindet. Nun laßt uns unser Feuer unter einem Dampfkessel entfachen; das Wasser erhitzt sich, verwandelt sich in Dampf; der Dampf treibt den Kolben der Maschine an, die die Arbeit leistet, dies Buch zu drucken. Die bei der Verbrennung freigewordene Energie, die sich uns als Wärme offenbarte, kann also in Arbeit umgesetzt werden. Aber auch der Körper eines Lebewesens leistet fortgesetzt Arbeit, zu der die Energie irgendwoher kommen muß. Tatsächlich stammt sie aus gleicher Quelle wie bei der Maschine, von einer Verbrennung. Eine Verbrennung allerdings ohne Feuer; aber wir sahen ja, daß das Wesentliche hier bei der Verbrennung nicht die Flamme, sondern die Verbindung des Kohlenstoffes mit dem Sauerstoff war. Der Kohlenstoff ist nun in Menge in den Bestandteilen des Körpers enthalten; es muß ihm nur der Sauerstoff der Luft dauernd zugeführt werden, damit er verbrannt werden kann, so wie der Schmied die Esse mit dem Blasebalg anbläst und wie durch den Ofen die Luft ziehen muß. Diese Sauerstoffzufuhr zum Körper aber ist es, was wir Atmung nennen.

Wie geht das nun im einzelnen vor sich? Dem Lebewesen ist es nicht so bequem gemacht wie dem Taucher oder dem Feuerwehrmann, dem Sauerstoff direkt aus der Flasche zugepumpt wird. Das Tier lebt vielmehr in der Luft, die nur zu einem Fünftel aus Sauerstoff besteht, oder im Wasser, in dem nur kleine Mengen von Luft eingeschlossen sind. Da muß nun dafür gesorgt sein, daß der Sauerstoff, das Lebenselement, aus der Umgebung herausgenommen und zum Zweck der Verbrennung in den Körper geschafft wird. Dies Geschäft vermittelt ursprünglich und bei allen einfachen Tieren die Haut: Die Hautatmung geht so vor sich, daß der Sauerstoff durch die Haut hindurch in den Körper eindringt und im Ausgleich dafür das Verbrennungsgas des lebenden Ofens, die Kohlensäure, hinaustritt. In diesem einfachsten Fall atmet also die ganze Körperoberfläche und der Sauerstoff kann leicht von dort aus überall hingelangen, wo er zur Verbrennung gebraucht wird.

4.

Es ist nun eine sehr wichtige Tatsache, daß im Körper der Tiere, ebenso wie bei den Leistungen der Menschen eine Neigung zur Arbeitsverteilung vorliegt. So wie es jetzt besondere Ärzte für einen jeden Körperteil gibt und Arbeiter, die ihr Leben lang nur einen Handgriff in höchster Vollendung ausführen, so haben sich auch die Tätigkeiten des Körpers sichtlich im Lauf der Entwicklung des Tierreiches spezialisiert. So werden wir uns nicht wundern, zu sehen, daß die Haut, die ja so viel anderes zu tun hat, auf die Teilnahme an der Atmung verzichtet und sie besonderen Atmungsorganen überläßt. Dem kommt noch eine weitere Bedeutung zu. Je mehr die Maschine leisten soll, um so mehr Kohle muß verbrannt werden und um so mehr Sauerstoff ist dazu benötigt. Ein Körper mit großen Leistungen bedarf also auch einer größeren Menge Sauerstoff. Wenn nun dieser lebenspendende Stoff so in den Körper gelangt, daß er durch eine Haut gegen die Kohlensäure ausgetauscht wird, so hängt zweifellos das Maß, das aufgenommen werden kann, von der Größe der Oberfläche dieser Haut ab, die mit dem Wasser oder der Luft in Berührung steht. Wie kann nun eine größere Berührungsfläche geschaffen werden, ohne daß der Körper selbst sich vergrößert? Versetzt Euch einmal in die Kinderstube; da spielt das Kind mit einem jener zusammenklappbaren Pappbilderbücher, die, wenn zusammengefaltet, nicht größer sind, als ein jedes Buch. Wird es aber auseinandergefaltet, so bedeckt es den halben Fußboden und zeigt, wie groß die bedruckte Fläche wirklich ist. Ganz ähnlich lösen die Atmungsorgane die Aufgabe, bei beschränktem Raume eine gewaltige Oberfläche zu schaffen. Bei den Spinnen sehen sogar solche „Lungen" tatsächlich wie ein zusammengefaltetes Buch aus und die Luft streicht zwischen all den Blättern durch (Abb. 28). Bei anderen Tieren hat ein großer Sack, in den die Luft eingesogen wird, sich durch unendlich winzige Wände in Millionen kleiner Kämmerchen geteilt, die alle miteinander zusammenhängen, so eine ungeheure Wandfläche erzeugend, etwa so, wie alle Zimmer eines

Hauses zusammen eine gewaltig größere Wandfläche haben als die Außenfläche des Hauses trägt (Abb. 29). Das nennt man dann eine Lunge. Bei wieder anderen wird der entgegengesetzte Weg eingeschlagen, vorzugsweise bei Wassertieren, die

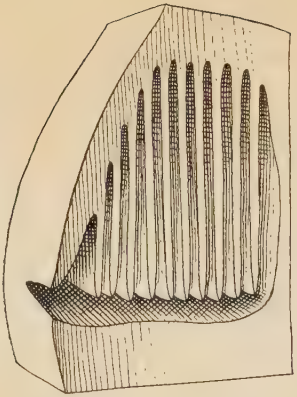


Abb. 28. Darstellung einer durchschnittenen Spinnenlunge mit den Blättern, zwischen denen die Luft durchstreicht.

a *b* *c*

Abb. 29. *a* Lunge von einer Brückenechse, *b* einer Agame, *c* einem Varan, (eidechsenartige Tiere) durchschnitten, um die fortschreitende Vergrößerung der inneren Oberfläche durch immer feinere Kammerung zu zeigen.

eine möglichst große, sauerstoffaufsaugende Oberfläche dem Wasserstrom entgegensetzen müssen. Hier wachsen auf der Oberfläche des Atmungsorgans, der Kiemen, unendlich viele feine Fädchen heraus, so die atmende Oberfläche um ein Vielfaches erhöhend (Abb. 30).

5.

So erhält also die atmende Hautoberfläche eine größere Leistungsfähigkeit, indem sie sich stellenweise entweder in besondere Wasseratmungsorgane, die Kiemen, umwandelt

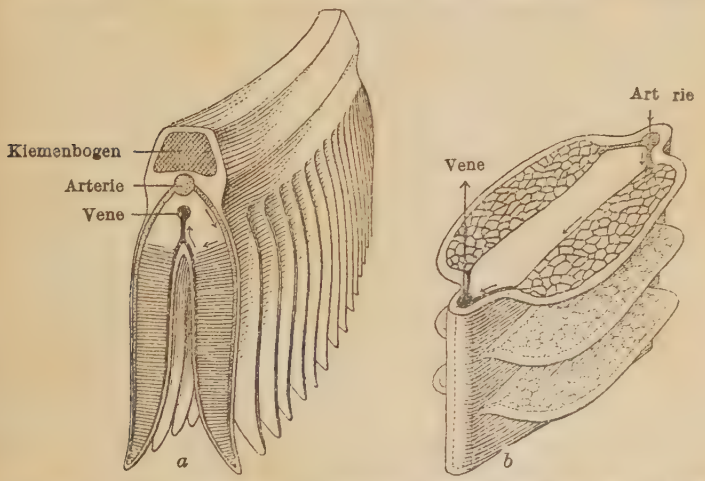


Abb. 30. *a* Ein Stück vom Kiemenbogen eines Fisches mit den Fiederblättchen der Kiemen. *b* Kleines Stück eines einzelnen Blättchens der Kiemen, stark vergrößert, mit genauerer Darstellung seiner Blutversorgung.

oder sich in das Innere des Körpers zu Atemsäcken für Luftatmung einsenkt, die Lungen. Damit taucht aber eine neue Schwierigkeit auf. Solange die ganze Hautoberfläche atmet, kann der energiespendende Sauerstoff leicht überallhin im Körper gelangen, wo er zur Verbrennung benötigt wird. Wenn aber bestimmte begrenzte Atemorgane bestehen, die an einem Punkt nur dem Körper Luft zuführen, so muß irgendwie dafür gesorgt werden, daß der Sauerstoff auch überallhin

schnell gelangt, wo er zum Verbrennen benötigt ist. Der erstere Fall kann etwa einem luftigen Sommerhaus verglichen werden, durch das von allen Seiten frei die frische Luft streicht. Der andere Fall wäre ähnlich einem Bergwerk, in das die Luft nur durch einen engen Schacht eintreten kann. Da muß natürlich für künstliche Durchlüftung des ganzen Bergwerks gesorgt werden. Ihre Anlage aber könnten wir uns verschiedenartig vorstellen. Einmal wäre es möglich, das ganze Bergwerk (den Körper) mit Luftröhren zu durchziehen, die mit dem Hauptschacht zusammenhängen und durch die die Atemluft überall hingeführt wird und die schlechte verbrauchte Luft wieder abzieht. Ein solches Durchlüftungssystem finden wir bei einer Gruppe des Tierreiches, den Insekten, tatsächlich vor. Von Öffnungen in der Körperoberfläche gehen feine Luftröhren in das Leibesinnere, verzweigen sich immer mehr und mehr und umspinnen alle Körperteile mit ihren feinsten Ästchen (Abb. 31). Durch sie wird die Luft überall hingeführt, wo der Sauerstoff benötigt wird und durch sie wird auch die Kohlensäure, die gegen den Sauerstoff ausgetauscht ist, wieder fortgeschafft. Fortgesetzt arbeitet die Lüftungspumpe des Bergwerkes, diesen Luftstrom zu erhalten. Habt Ihr einmal eine Wespe auf einem Stückchen Zucker sitzend beobachtet und gesehen, wie ihr Leib sich fortgesetzt aufbläht und zusammenzieht? Da arbeitete die Pumpe.

Viel verwickelter aber ist die Durchlüftungsanlage, wenn Lungenatmung vorhanden ist und es gibt wohl kaum ein Menschenwerk, das man zum Vergleich heranziehen könnte. Die Lunge ist ein Luftsack, der sich abwechselnd mit frischer, d. h. sauerstoffreicher Luft füllt, das Einatmen, und verbrauchte, d. h. kohlensäurehaltige Luft ausstößt, das Ausatmen. Wir brauchen also zunächst einmal in unserer Durchlüftungsanlage eine Pumpe, die dies besorgt, und sie ist bei Mensch und Säugetieren Brustkorb und Zwerchfell, die die Atembewegungen ausführen. Aus der Lunge tritt nun der Sauerstoff in den Körper über, und zwar in genau der gleichen Weise wie auch bei der ursprünglichen Hautatmung, d. h. der Sauerstoff dringt aus der Atemluft durch die dünne

Haut der Lungenwand hindurch in das Innere des Körpers, während gleichzeitig auf demselben Weg die Kohlensäure herauskommt. Wo geht aber der Sauerstoff nun hin, wie gelangt er zu jeder einzelnen der Millionen Körperzellen, die ihn zur Verbrennung benötigen? Entsprechend der ungeheuren Wichtigkeit, die diese Leitung des Sauerstoffes für den Ablauf der Lebensvorgänge hat, ist auch für eine wirksame Einrichtung gesorgt, die ihn in die entferntesten Winkel des Körpers schafft, richtig abliefert und dafür die Kohlensäure zum Wegschaffen in Empfang nimmt. Diese Einrichtung aber ist das Blutgefäßnetz. In den dünnen Wänden der Lunge — und das trifft auch für die Kiemen zu (Abb. 30) — dehnt sich ein dichtmaschiges Netz feinster Blutgefäßchen aus (Abb. 32), deren Blut den durch die Lungenwand hindurchtretenden Sauerstoff aufnimmt. Mit dem Blutstrom wird er zur Hauptpumpstation, dem Herzen geführt, und von dort gehen alle die Blutadern in den Körper hinaus, die überall hindringen und mit anderer Nahrung auch den Sauerstoff abliefern. Das Blut, das dafür die Kohlensäure in Empfang genommen hat, fließt aber in anderen Adern wieder zum Herzen zurück, von wo es in die Lunge gepumpt wird, um die Kohlensäure auszuatmen.

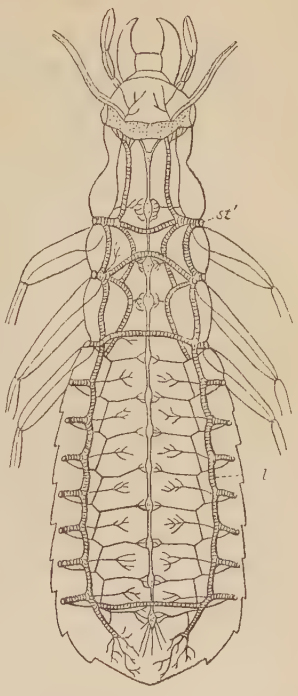


Abb. 31. Darstellung des Luftröhrensystems im Körper eines Insekts. *l* Längsrohr, *st* Atemöffnungen.

Nun fällt uns aber unser Spulwurm wieder ein, den wir schier vergessen hatten. Atmet er denn auch? Er lebt ja abgeschlossen von jeder Luft, jedem Sauerstoff, im Innern des Darms. Nimmt man ihn heraus und hält ihn in einem mit Kohlensäure durchspülten Glas Wasser, so lebt er darin ruhig weiter, während ein Fisch im gleichen luftfreien Wasser in wenigen Sekunden sterben müßte. Da aber der Wurm sich auch bewegt, lebt, sollte er doch auch eine Verbrennung besitzen, um die dazu nötige Energie zu erzeugen. Woher aber

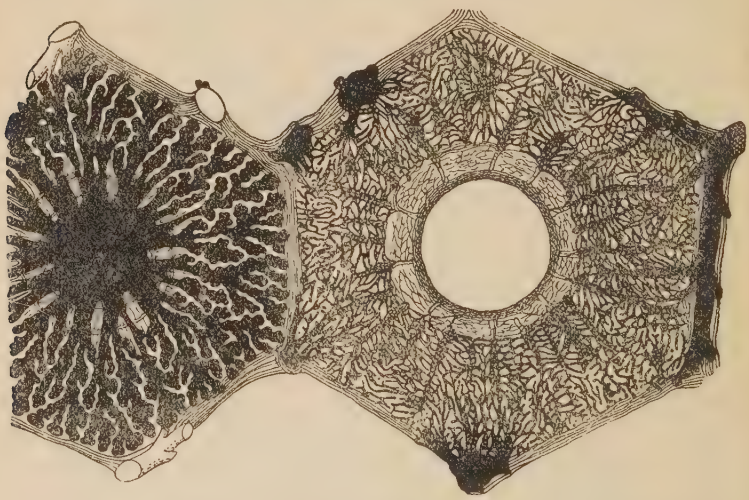


Abb. 32. Querschnitt zweier benachbarter Bläschen einer Vogellunge. Links ist der fein verästelte Luftraum mit einer schwarzen Masse gefüllt dargestellt. Rechts ist nur das den Luftraum umspinnende Blutgefäßnetz schwarz dargestellt.

den notwendigen Sauerstoff nehmen? Oder hat er vielleicht eine andere Art erfunden, sich seine Energie zu verschaffen? Die Antwort auf diese Fragen ist nicht so ganz leicht zu verstehen, aber wir wollen es doch wenigstens mit dem dazu nötigen kleinen Ausflug in die Chemie versuchen.

Die Chemie sagt uns, daß ein jeder Stoff, wenn er nicht selbst ein Grundstoff wie Gold, Silber, Eisen, Schwefel, Chlor

ist, aus bestimmten Mengen von Grundstoffen oder Elementen aufgebaut ist, und zwar gehen in den Aufbau bestimmte Zahlen der kleinsten Teilchen der Stoffe, Atome genannt, ein. Zu diesen Elementen gehören aber auch Kohlenstoff, Wasserstoff und Sauerstoff. Der Chemiker ist nun imstande, jeden Stoff in seine Grundstoffe oder in neuartige Zusammenstellungen der gleichen Grundstoffe zu zerlegen. Das Wasser etwa besteht immer aus zwei Atomen Wasserstoff und einem Atom Sauerstoff. Leiten wir einen elektrischen Strom hindurch, so wird es in reinen Wasserstoff und reinen Sauerstoff, beides Gase, zerlegt. Der Zucker besteht aus 6 Atomen Kohlenstoff, 12 Atomen Wasserstoff und 6 Atomen Sauerstoff. Diese Atome können so umgelagert werden, daß zwei neue Stoffe entstehen, einer mit 2 Atomen Kohlenstoff, 6 Atomen Wasserstoff und 1 Atom Sauerstoff, Alkohol genannt und einem anderen mit 1 Atom Kohlenstoff und 2 Atomen Sauerstoff, Kohlensäure genannt; beide aber entstehen in zwei Portionen aus einer Portion Zucker. Ist das nicht recht verständlich? Nun, so paßt auf: Wir haben einen Mosaikbaukasten mit 6 roten Klötzen, die wir die Kohlenstoffklötze nennen; 12 blauen Klötzen, die wir die Wasserstoffklötze nennen und 6 gelben, die wir die Sauerstoffklötze nennen. Aus diesen können wir ein süßes Bild zusammensetzen, das nennen wir Zucker. Mit den gleichen Klötzen können wir aber auch andere Bilder bauen. Da gibt es ein schönes Bild, das heißt Alkohol und benötigt 2 Kohlenstoffklötze, 6 Wasserstoffklötze und 1 Sauerstoffklotz. Wir bauen es und sehen, daß noch genug Klötze übrig sind, um es nochmals zu bauen. Nun haben wir 4 rote, alle 12 blauen und 2 gelbe Klötze verbaut und es bleiben uns nur noch 2 rote Kohlenstoffklötze und 4 gelbe Sauerstoffklötze. Da gibt es nun ein einfacheres Bild, das Kohlensäure heißt und aus 1 Kohlenstoff- und 2 Sauerstoffklötzen gebaut wird. Das können wir aber mit unserem Rest an Bausteinen auch zweimal machen; so haben wir mit den gleichen Bausteinen aus einem Zuckerbild zwei Alkoholbilder und zwei Kohlensäurebilder hergestellt.

Was kann nun den Zucker zwingen, sich in Alkohol und

Kohlensäure zu zerlegen? Aha, das ist ja nichts anderes als die gewöhnliche Gärung, die aus dem süßen, zuckrigen Traubensaft sauren, zuckerfreien, aber Alkohol und Kohlensäure enthaltenden Most erzeugt. Was Gärung ist, wissen wir aber schon genau: eine Zerlegung meistens mit Hilfe eines Enzyms, hier der Hefe.

Was soll dies nun alles mit unserer Frage zu tun haben? Das wird sogleich klar werden. Für gewöhnlich also liefert die Verbrennung der Nahrung die nötige Energie zur Durchführung der Lebensprozesse, und tatsächlich ist die Verbrennung ein vorzügliches Mittel, um möglichst viel lebendige Kraft aus einer gegebenen Nahrungsmenge zu erhalten. Ein Spulwurm lebt nun aber unter ganz besondersartigen Verhältnissen. Seine Nahrungsmenge ist eine unbegrenzte — er schwimmt ja in ihr — und so braucht er auch gar nicht besonders sparsam mit ihr umzugehen. Selbst wenn er sie in irgendeiner anderen, verschwenderischeren Art als es die Verbrennung ist, verarbeitet, also sich nur einen kleinen Teil der in ihr enthaltenen lebendigen Kraft zunutze macht, kommt er doch noch auf seine Rechnung. Allzuviel Energie braucht er ja nicht, da er ja nicht auf Nahrungserwerb ausgeht, sich nicht gegen Feinde zu verteidigen hat, nicht seine eigene Körperwärme erzeugt. So kommt er tatsächlich ohne Verbrennung aus und bestreitet all seine Leistungen mit dem bißchen Energie, das bei einer Gärung geliefert wird. Alle seine Zellen sind mit einem aus der Nahrung gebildeten Stoff angefüllt, der dem pflanzlichen Stärkemehl, etwa dem einer Kartoffel vergleichbar ist, und daher tierische Stärke genannt wird. Ebenso aber, wie in unserem vorhergehenden Beispiel Zucker durch das Enzym des Hefepilzes in Alkohol und Kohlensäure vergoren wurde, so vergärt im Spulwurmkörper die aufgespeicherte tierische Stärke zu einer übelriechenden Fettsäure, Kohlensäure und Wasserstoff. Das aber ersetzt dem Wurm die Verbrennung, die er aus Mangel an Atemsauerstoff nicht ausführen könnte. Ähnlich dürfte es bei allen Tieren sein, die imstande sind, sauerstofffrei zu leben.

7.

Nun wollen wir zum letztenmal zur Haut zurückkehren, um noch im richtigen Augenblick dem Vorwurfe zu entgehen, daß wir vor lauter Bäumen den Wald nicht sehen. Alles mögliche haben wir von der Haut gehört, nur noch nichts über ihre allernächstliegende Aufgabe: den Körper vor Verletzung zu schützen; und das ist sicher bei einer Fülle von Lebewesen ihre Hauptaufgabe.

Wer einmal versucht, die Haut eines Nilpferds, Elefanten, Nashorns, Krokodils zu durchschneiden, bedarf wohl keiner weiteren Beweise. Trotzdem ist es lehrreich, kennenzulernen, in welch mannigfaltiger Weise die Natur imstande ist, die Schutzaufgabe der Haut zu lösen.

Von Haus aus ist die Haut ein ebenso weiches Zellgewebe wie die meisten Innenteile des Körpers, und wenn ihre Zellen noch dazu einen weichen Schleim ausschwitzen, der die Oberfläche schmiert, so kommt die weiche, quabbelige Hautoberfläche zustande, die es so vielen Menschen verekelt, einen Frosch, Schnecke, Wurm anzufassen. Soll eine solche Haut nun gefestigt oder widerstandsfähig gemacht werden, so ist die nächstliegende Art und Weise die, mit der etwa Holz zur Verschalung eines Hauses oder zur Benutzung als Eisenbahnschwellen wetterhart gemacht wird: mittels Durchtränkung mit einem widerstandsfähigen Stoff. Die Hautzellen machen das so, daß sie in ihrem Leib feine Körnchen einer festen Masse ablagern, die man Hornstoff nennt. Er füllt schließlich die ganze Zelle an, die dann zu seinen Gunsten ihr Leben läßt und sich damit in ein Hornschüppchen verwandelt. Tun nun Millionen und Abermillionen Zellen das gleiche, so ist schließlich der Körper von einer hornigen Haut bedeckt, unter der aber immer noch die weiche, lebende Haut erhalten ist, die immer wieder neue Hornschüppchen zum Ersatz der außen abgeschabten liefert. So sieht es etwa in der Haut eines Menschen aus, ein jeder ist mehr oder minder ein „hürnener Siegfried" (Abb. 33).

Ein Mensch mag nun mit einem solch dünnen Panzerhemdchen zufrieden sein; denn wenn es ihm nicht genügt,

kann er sich eine schöne, feste Rüstung fertigen und darüber ziehen, wenn er „seine Haut zu Markte trägt". Die tierische Haut aber ist selbst der Schwertfeger und verwandelt sich nach Bedarf in einen mächtigen Panzer. Da gibt es hieb- und

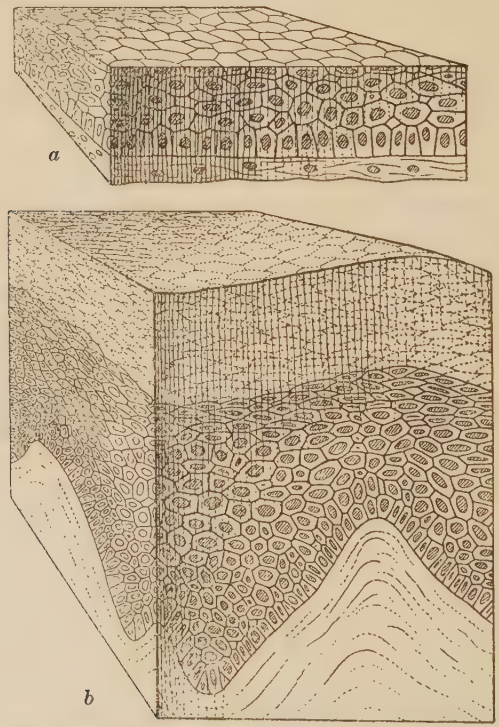


Abb. 33. *a* Ein Stück Oberhaut eines Frosches, um die Zusammensetzung der Haut aus Zellenlagen zu zeigen. *b* Ebensolche Darstellung eines Stückchens menschlicher Haut. Über den lebenden Zellen liegt die Schicht verhornter Zellen oder Hornschüppchen.

stichfeste Hornschuppenpanzer bei den Eidechsen und Schuppentieren oder gewaltige Plattenpanzer bei Krokodilen und Gürteltieren. Die merkwürdigsten aller Hornpanzer werden aber gebaut, um den täglichen unbesiegbaren Feind, die Witterung, zu bekämpfen. Unendliche Mengen der kleinen Hornzellen schließen sich zusammen und wachsen von der Ober-

fläche der Haut weg zu einem dünnen, hohen Hügel, einem Haar aus, und unendliche Mengen solcher Haare bilden einen warmen Pelz. Oder aber, die Hornhügel verästeln sich nach beiden Seiten und die Äste wieder und es erhebt sich über

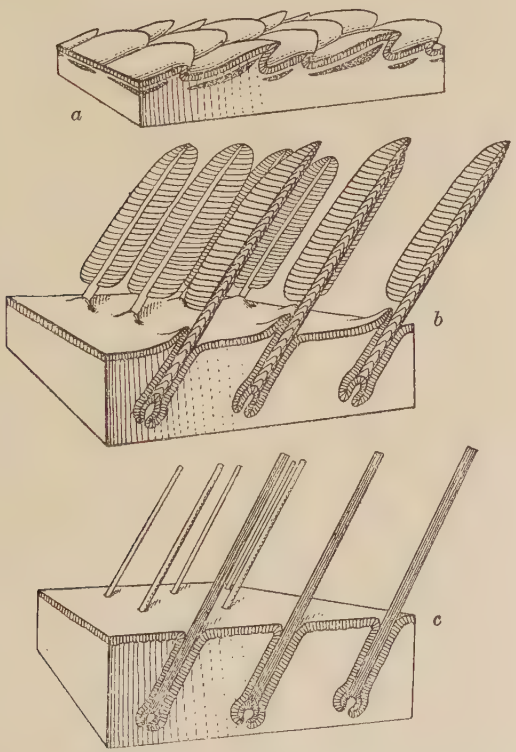


Abb. 34. *a* Ein Stück Fischhaut mit Schuppen unter der Oberhaut. *b* Ein Stück Vogelhaut mit den aus der Oberhaut gebildeten Federn. *c* Ein Stück Säugetierhaut mit den aus der Oberhaut gebildeten Haaren.

die Haut ein ganz absonderliches Horngebilde, das wir Feder nennen. Wieder steht eine neben der anderen und hält den ganzen Körper warm (Abb. 34).

Die Wand eines Hauses, das ist seine Haut, kann sicher gegen die Unbilden der Außenwelt geschützt werden, wenn sie sehr dick und fest gebaut wird. Aber auch eine dünne Wand

Abb. 35. *a* Ein Stückchen von der Körperwand der Ascaris mit der Schicht spindelförmiger nebeneinanderliegender Muskelzellen, *b* eine einzelne solche Muskelzelle, *c* die gleiche, in der Höhe des Zellkerns durchgeschnitten.

läßt sich gegen den anklatschenden Regen durch eine Holzverschalung schützen. Das ist, bildlich gesprochen, die zweite Art, wie die weiche Haut sich zu schützen vermag. Nur daß diese Verschalung nicht von tüchtigen Handwerkern von außen aufgelegt wird, sondern es sind die Handwerker in der Mauer selbst, die Hautzellen, die die Verschalung ausscheiden. Ein solches ausgeschwitztes und verhärtetes Außenhäutchen war es, das unserem Messer zuerst Widerstand entgegensetzte, als wir die Ascaris aufschneiden wollten. Tatsächlich werden ganze Tiergruppen sogar gerade daran erkannt, daß ihre Haut um ihren Körper einen vollständigen Panzer eines besonderen Stoffes ausschwitzt, das sogenannte Chitin: wir meinen natürlich die Insekten, Krebse, Spinnen. Die meisten Leser werden schon einmal versucht haben, eine Hummerschere zu öffnen, also den Chitinpanzer eines solchen Krebses zu durchbrechen und wissen daher, wie stark der Schutz eines solchen Panzers ist. Trotzdem ist er noch fast armselig im Vergleich mit manchen Schalentieren. Eine Austernschale und ein Schneckenhaus sind nämlich auch nichts anderes als eine Ausschwitzung der Haut eines weichen Tieres. Aber die stark kalkhaltige Masse ist zu einer steinharten Schale erstarrt. Allerdings scheidet nicht die ganze Hautoberfläche hier aus, sondern bloß ein dazu bestimmter Hautteil, der aber so angeordnet ist, daß das ganze übrige Tier sich in die ausgeschiedene Schale zurückziehen kann. Das Weiterwachsen findet aber am Schalenrand statt. Wie kann aber wohl ein in seinen Panzer eingeschlossener Krebs wachsen? Das ist in der Tat merkwürdig. Da zieht sich zunächst seine Haut von dem alten Panzer etwas zurück. Dann legt sie sich in viele Falten und bildet einen neuen weichen Panzer unter dem alten. Dann beginnen die Falten sich zu strecken, der ganze Körper bläht sich auf und sprengt die alte Hülle an irgendeiner Stelle. Vergnügt kriecht das Tier dann aus seinem alten Panzer heraus, streckt sich ein bißchen und sein bereits fertiger neuer und weiterer Rock wird schnell hart. Wenn das nur auch mit den Kleidern unserer Kinder möglich wäre!

In den erwähnten Fällen hatte die Haut selbst für ihre

Verteidigung gesorgt. Es soll aber nicht verschwiegen werden, daß ihr dabei auch oft ein Nachbarstaat zu Hilfe kommt, nämlich das unter der weichen Zellhaut liegende Gewebe, das aus fest durcheinandergeflochtenen Fasern besteht, die eine mehr oder minder dicke Schicht bilden, die so zäh ist wie — Sohlenleder. Das ist nicht etwa bildlich gesprochen. Denn tatsächlich ist dies der Teil, den man auch Lederhaut nennt, der, wenn gegerbt, das Leder darstellt. Schließlich kann in dieser auch noch fester Stoff, vorzugsweise Kalk, abgelagert werden, so daß ein unter der weichen Haut liegender fester Panzer zustande kommt, wie es tatsächlich die Fischschuppen oder die Panzerplatten der Kofferfische sind. In allerstärkster Ausbildung kann man solche Unterhautpanzer bei vielen der vorsintflutlichen Ungeheuer sehen, deren Reste uns der schützende Erdboden aufbewahrt hat. Das Riesengürteltier Amerikas etwa muß der reine wandernde Panzerturm gewesen sein. So wie dieser aber von den Riesengeschossen durchschlagen wird, so drangen die stahlharten Zähne des Säbelzahntigers auch durch jenen hindurch. Es scheint, als ob zu jedem Schutz auch die ihm gewachsene Waffe geschmiedet wird; auch in den guten alten Zeiten früherer Erdperioden.

Vierter Abschnitt.

Nun soll endlich aber unsere Ungeduld befriedigt werden, den gesprächigen Wurm wirklich aufzuschneiden. Wir setzen das scharfe Seziermesser an und führen einen geraden Schnitt der ganzen Länge des Tieres entlang. Da wir schon vorher die Haut gespalten hatten, haben wir nur noch eine ganz dünne, weiche Gewebeschicht zu durchschneiden, bis das Messer keinen Widerstand mehr findet und aus der angeschnittenen Höhlung des Wurmleibes eine wässerige rötliche Flüssigkeit herausspritzt. Nun heißt es aber vorsichtig sein, denn mit dieser Flüssigkeit hat es eine gar eigentümliche Bewandtnis; sie ist giftig, ohne daß man eigentlich so ganz genau sagen könnte, welches der Giftstoff ist. Erstaun-

licherweise ist sie aber nicht für jedermann giftig. Da gibt es Leute, die ungestört jahrelang mit diesem Wurm arbeiten können, ohne irgend etwas zu spüren, denen sogar der Saft in die Augen spritzen mag, ohne daß es ihnen schadet. Da gibt es aber andere, die gegen das Gift außerordentlich empfindlich sind. Ich erinnere mich an einen jungen Kollegen von ganz erstaunlicher Empfindlichkeit für gerade dieses Gift. Wenn er ein Zimmer betrat, in dem solche Würmer seziert wurden und das mit dem, vielen anderen gar nicht wahrnehmbaren, Geruch der giftigen Flüssigkeit gefüllt war, so hob sich alsbald die Bindehaut seines Auges von der Hornhaut ab, was glücklicherweise gefährlicher aussah, als es sich dann erwies. Ich selbst habe am eigenen Leib so ziemlich alle Stufen der Vergiftung erfahren. Anfangs, als ich begann, bestimmte wissenschaftliche Fragen, für die der Wurm ein besonders günstiges Objekt darstellt, zu bearbeiten, spürte ich gar nichts. Nach einiger Zeit aber begannen meine Schleimhäute die Wirkung zu spüren und ein chronischer Schnupfen stellte sich ein, der so andauernd war, daß mein Professor, unter dem ich studierte, mich im Scherz mit dem Namen des Helden jenes köstlichen Buches „Auch Einer" belegte, dem bekanntlich alles im Leben mißlang, weil er im entscheidenden Augenblick immer nießen mußte. Im Lauf der Jahre steigerten die Erscheinungen sich so, daß alltäglich beim Erwachen ein Asthmaanfall auftrat. Da erst erkannte ich die wahre Ursache des Leidens, das auch alsbald verschwand, als ich weiteres Arbeiten mit der Ascaris einstellte. Heute aber bin ich so empfindlich, daß das Nießen sofort beginnt, wenn ich ein Studierzimmer betrete, in dem jemand mit dem Wurm arbeitet.

1.

Zweifellos fallen einem jeden Leser nun einige ähnliche Beispiele aus seinem Bekanntenkreis ein: von Leuten, die keine Krebse oder Erdbeeren essen können, ohne Nesselausschläge oder andere Vergiftungserscheinungen zu zeigen, während andere nie solche Erfahrungen machen. Es liegt

da nahe, sich die Frage vorzulegen, ob wir nicht hier vor Erscheinungen stehen, die mehr oder minder die gleichen sind, wie die Empfindlichkeit oder Nichtempfindlichkeit — das Fremdwort für letzteres heißt Immunität — gegen die Gifte, die von unseren schlimmsten Feinden, den Bakterien, ausgeschieden werden. Denn wir wissen, daß einer mehr zu einer Erkältung neigt, das ist zu einem Einfall von Bakterien in empfindliche Schleimhäute, der andere weniger; daß der eine sehr empfindlich ist für die Bakterien der Lungenschwindsucht, der andere aber ihnen standhält. Ferner weiß jedermann heutzutage, daß Mensch und Tier gegen viele Bakteriengifte und andere Gifte künstlich giftfest gemacht werden, „immunisiert" werden können. Da stehen wir nun wieder vor der Fähigkeit des Körpers, Anforderungen der Außenwelt in zweckentsprechender Weise zu begegnen und sich vor Schädigungen zu schützen.

In dem Kampf gegen dem Körper fremde Gifte ist nun der Hauptkampfplatz das Blut. Horden von Bakterien sind in den Körper gedrungen und ihr Gift droht den Leib zu vernichten. Wir haben bereits erfahren, wie die Freßzellen einem solchen Angriff zu begegnen suchen, indem sie die Eindringlinge verzehren. Aber sie sind machtlos gegen das ausgeschiedene Gift, das im Blut kreist. Da antwortet nun das Blut — welcher Bestandteil des Blutes, kann uns ja zunächst gleichgültig sein — indem es eine Art Gegengift herstellt. Man stelle sich einmal vor, das Gift sei ein chemischer Stoff von verwickelter Zusammensetzung, der so glatt ist, das er nicht angepackt werden kann. Nur an einer Stelle besitzt er ein kleines Häkchen, an dem er angefaßt werden könnte. Nun stelle man sich die vom Blut gefertigten Abwehrstoffe so vor, daß sie eine Zange besitzen, die genau zu jenem Häkchen paßt und es sofort festpackt und festhält. Das ist natürlich nur ein Bild, das aber nicht ganz so unmöglich ist wie es klingt; man hat nur an die Stelle der Haken und Zangen die absonderlichen chemischen Anziehungskräfte zu setzen, um der Wahrheit nahezukommen. Jedenfalls wird es so klar, daß der Körper dann unempfänglich ist für die ihn angreifenden Gifte, wenn er über

die nötigen Abwehrstoffe verfügt. Wir verstehen auch, warum wir gegen gewisse Krankheiten unempfindlich sind, wenn wir sie einmal überstanden haben: die damals erzeugten Abwehrstoffe verbleiben im Blut und wehren weitere Giftangriffe ab.

Jetzt hat man aber auch gelernt, dem Blut in seinem so entscheidenden Kampfe zu Hilfe zu kommen, indem man ihm künstlich die Abwehrstoffe, die man vorher fabriziert hat, einverleibt, einimpft. Welche, man möchte fast sagen, Wunder auf solche Weise verrichtet werden können, sollte ein jeder Mensch genau wissen. Man nehme etwa den Fall der Giftschlangen, die in warmen Ländern zahllose Menschen durch ihren Biß töten. Wird ihr Gift in der richtigen, nicht tödlichen Menge einem Tier, etwa einem Pferd oder Rind, eingespritzt, so bildet dessen Blut die richtigen Schutzstoffe. Wird nun ein Mensch von der Schlange gebissen, so spritzt der Arzt ihm das gereinigte und sauber hergerichtete Blut, das sogenannte Serum, des genannten Tieres ein und die darin enthaltenen Schutzstoffe nehmen den Kampf im Körper des Patienten auf. Das nennt man dann eine Heilserumbehandlung, die genau so bei Bakteriengiften wirkt wie bei Schlangengiften. In diesem Fall waren vorher dem serumspendenden Tier die betreffenden Bakterien in einer bestimmten Dose eingespritzt worden. Von der Serumbehandlung führt aber nur ein kleiner Schritt zur Schutzimpfung, also der Möglichkeit, die Schutzstoffe dem Körper im voraus einzuverleiben und gar nicht erst abzuwarten, bis das Bakteriengift im Körper ist. Bei manchen Krankheiten erzeugt man sogar auch beim Menschen direkt die Schutzstoffe, indem man ihm abgetötete Bakterienmassen einspritzt. Was dies Vorbeugungsmittel für das Wohl der Menschheit bedeutet, läßt sich kaum in Worten ausdrücken und man kann nur Mitleid mit den Menschen empfinden, die aus Unkenntnis und Fanatismus das segensreiche Vorgehen bekämpfen. Aber es ist merkwürdig, wie die Menschheit das Unverständliche, Geheimnisvolle, Übernatürliche, ja oft Unsinnige dem Einfachen und Vernünftigen vorzieht. Als ich einmal durch weltabgeschiedene Gegenden der japanischen Alpen wanderte, fiel mir auf, daß

an der Gemarkungsgrenze der Dörfer ein Seil über den Weg gespannt war, an dem ein paar geweihte Papierfetzen im Winde flatterten. Mein Begleiter erklärte mir, daß dadurch das Eindringen ansteckender Krankheiten verhindert werden solle, von denen der Wanderer gereinigt wird, der unter dem Strick wegschreitet. In den Dörfern selbst sah ich dann öfters außen an den Hauswänden Plakate angeklebt, auf denen sich nichts befand als der schwarze Tuscheabdruck von Kinderhänden. Ich erfuhr, daß in solchen Häusern ein krankes Kind liege, und daß man glaube, das Kind gesunde, sobald 1000 Wanderer die Handabdrücke geschaut hätten. Da mußte ich wohl darüber nachdenken, daß ich kurz zuvor in der Landeshauptstadt ein wundervolles, nach deutschem Muster eingerichtetes Institut für Seuchenbekämpfung besucht hatte, in dem alles geschieht, was für wissenschaftliche Seuchenbekämpfung nötig ist. Da war ich denn gerade im Begriff, Betrachtungen darüber anzustellen, wie weit noch in jenem Land die Kluft zwischen Wissenschaft und Volksaberglaube ist, als mir einfiel, daß ich zu Hause in der Sommerfrische jahrelang der Nachbar einer Doktorbäuerin war, die alle Krankheiten aus der Besichtigung des Urins erkennt, mit Kräutern heilt und von dem Betrug reich wird. Da gab ich meine Betrachtungen über Aberglauben in fernen Ländern auf.

Doch nun zurück zu unserem Spulwurmgift, das uns noch eine weitere merkwürdige Tatsache gezeigt hatte, nämlich die außerordentliche Steigerung der Empfindlichkeit bei den betreffenden Personen. Auch das ist eine keineswegs vereinzelt dastehende Erscheinung. Sie bildet vielmehr gewissermaßen das Gegenstück zu der eben besprochenen Immunität. Letztere bestand ja darin, daß nach Einverleibung eines Giftes ein Schutzstoff entstand, der genau auf die Unschädlichmachung gerade dieses Giftes eingestellt war. In bestimmten Fällen zeigt sich nun ein ganz abweichendes Verhalten: wird dem Versuchstier eine Dosis Gift eingespritzt und nach einer Ruhepause dann wieder das gleiche Gift eingeführt, so genügt eine unendlich kleine, sonst unschädliche Menge, um das Tier augenblicklich unter ganz besonderen Erscheinungen zu töten; es ist überempfindlich geworden. Das erstaunlichste

an der Erscheinung ist aber, daß der eingespritzte Stoff nicht einmal ein Gift zu sein braucht. Ebenso wie das Blut bei der Immunisierung Abwehrstoffe erzeugte, so bringt es auch ganz besonders eingestellte Stoffe hervor, wenn ihm irgendwelche fremden Eiweißkörper zugesetzt werden. Die Tatsache selbst oder wenigstens ihre Anwendung zur Erkennung von Verbrechen ist wohl in weiteren Kreisen bekannt. Spritzt man etwa einem Kaninchen Aalblut ein, so erzeugt sein Blut bestimmte Stoffe, die auf Aalblut und nur auf Aalblut eingestellt sind. Würde man nun solches, die betreffenden Stoffe enthaltendes Kaninchenblut mit reinem Aalblut zusammenbringen, so entstände alsbald in der vorher klaren Flüssigkeit eine flockige Trübung, die sich als ein Niederschlag im Versuchsglas zu Boden setzt; mit keinem anderen als Aalblut würde aber die Trübung eintreten. Wenn also etwa an einem Messer Blutspuren gefunden werden und man will wissen, ob es Menschenblut ist, so muß man nur eine Auflösung dieser Reste mit Blut eines Versuchstieres zusammenbringen, dem vorher Menschenblut eingespritzt war. Entsteht dann der Niederschlag, so war es Menschenblut.

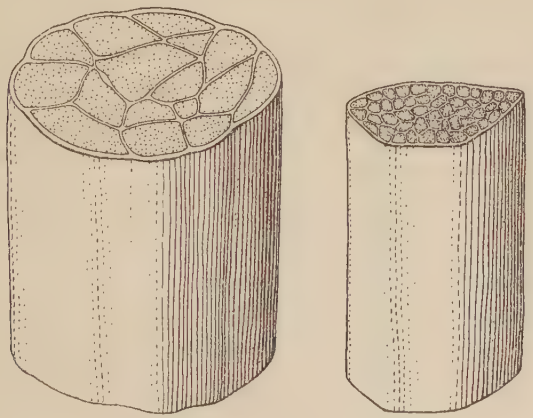
Um nun wieder zur Überempfindlichkeit zurückzukommen, mit der wir selbst beim Spulwurmgift so schlechte Erfahrungen gemacht hatten, so kann sie auch ohne Gift ausgelöst werden, bloß durch fremdes Eiweiß, das wie Gift wirkt. Einem Meerschweinchen wird etwa Hühnereiweiß eingespritzt. Nach bestimmter Zeit ist nur eine Spur von letzterem nötig, um, wenn ins Blut gebracht, das Meerschweinchen sofort zu töten.

Doch genug davon! Wir haben uns da eigentlich verleiten lassen, schon von etwas zu sprechen, zu dem wir noch gar nicht gelangt sind. Denn als uns der bösartige Leibeshöhlensaft der Ascaris entgegenspritzte, hatten wir zuerst eine weiche, dünne Gewebsschicht durchschnitten, von der wir noch gar nicht wissen, was sie bedeutet. Wir werden sogleich bemerken, daß es wohl der Mühe wert ist, sie nicht zu übergehen.

Wollen wir besagte Gewebsschicht besser betrachten, so stecken wir mit ein paar Nadeln die durchschnittene und ausgebreitete Körperwand des Wurmes auseinander und sehen nun vor uns eine feine, samtartige, längsgestreifte Masse (Abb. 35 a). Das aber sind nichts anderes als die Muskeln des Wurmes. Das erscheint uns vielleicht merkwürdig; denn wir sind gewohnt, uns Muskeln ganz andersartig vorzustellen. Eine Ochsenlende etwa ist ein typischer Muskel, Fleisch genannt, wenn er gegessen werden soll. Nun ja, ein Spulwurm ist kein Ochse und Muskeln dieses mögen ganz anders auf den ersten Blick ausschauen als jenes. Und doch, wenn wir beide genau untersuchen, dann schrumpfen die Unterschiede immer mehr und mehr auf Nebensächliches zusammen und in der Hauptsache kann uns einer soviel lehren wie der andere. Um das zu erkennen, wollen wir sie einmal ein wenig vergleichen.

Das große Stück Ochsenmuskelfleisch erscheint uns zunächst als eine Einheit. Aber wir erinnern uns, daß es, wenn gekocht, deutlich aus zahlreichen, längsverlaufenden Fasern besteht, die wir immer quer durchschneiden, wenn wir kunstgerecht Fleisch zerlegen. Untersuchen wir nun einen solchen Muskel genau mit den Mitteln des Anatomen, so finden wir leicht, daß er in eine große Zahl gleich ausschauender Faserbündel gegliedert ist. Zergliederten wir diese weiter, so kämen wir zu noch feineren Bündeln von Fasern, die sich selbst wieder ebenso zerlegen ließen, bis wir schließlich an eine Grenze gelangten, wo eine weitere Aufspaltung der Fasern nicht mehr gelingt. Dann sehen wir vor uns unendlich feine, mehr als haardünne Fädchen oder Fäserchen, von denen eines dem anderen gleicht. Das sind nun die wirklichen Grundbestandteile des Muskels, aus deren Millionen sich die Ochsenlende oder sonst ein Muskel aufbaut. Wir nennen sie Muskelfasern und werden nicht weiter erstaunt sein zu hören, daß sie auch Zellen oder richtiger Säulen verschmolzener Zellen darstellen (Abb. 36). Ihre Tätigkeit, millionenfach addiert, ist es, die wir als Muskeltätigkeit bewundern. Nun betrachten

wir in der gleichen Weise die dünne Muskelschicht des Spulwurmes. Da gelingt es uns allerdings nicht, einen geformten Muskel wie jenes Lendenstück herauszuschälen. Zerfasern wir aber jene Schicht, so kommen wir auch bald auf unendlich feine, gleichgerichtete Fäserchen, über deren Natur als Muskelzellen uns das Mikroskop leicht unterrichtet (Abb. 35 b, c). Sind sie auch in ihren feinsten Einzelheiten ein wenig anders gebaut als die des Ochsen, so sind sie doch im wesentlichen ihnen gleich. Der Hauptunterschied ist also nur der: Beim



a *b*

Abb. 36. *a* Ein Muskel aus Faserbündeln zusammengesetzt. *b* Eines dieser Bündel stärker vergrößert, um seine Zusammensetzung aus Muskelzellsäulen zu zeigen.

Ochsen waren zahllose Fasern zu einer Einheit, dem Muskel, zusammengefaßt, und die Muskulatur des Körpers besteht aus all den Einzelmuskeln, die Rumpf und Glieder bewegen — die Lende war ja nur einer davon —, hier beim Spulwurm aber besteht die ganze Muskulatur nur aus einer gleichmäßigen dünnen Schicht von Muskelfasern, die sich nicht zu Gruppen, Muskeln vereinigen, sondern in einer einfachen Lage unter der Haut liegen; man nennt das einen Hautmuskelschlauch, wie ihn die meisten Würmer haben. Jede andere erdenkliche Zusammengruppierung von Muskelfasern zu Bündeln, Schläuchen, Häuten, Strängen, Ringen, Netzen ist eben-

sogut denkbar und kommt bei verschiedenen Tieren auch vor. Jetzt verstehen wir, weshalb die Muskelfasern des Spulwurmes uns genau das gleiche lehren können wie irgend andere Muskeln. Denn wie auch die Wirkung eines Muskels durch größere Anhäufung einzelner Fasern gesteigert werden kann, in letzter Linie kommt doch nur in Betracht, was die einzelne Muskelfaser oder Muskelzelle tut. Diese müssen wir uns daher zunächst etwas genauer ansehen.

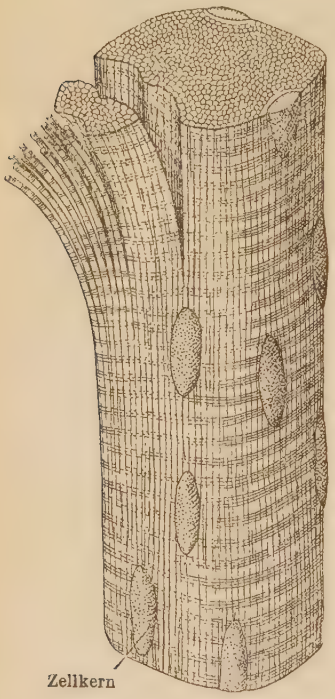


Abb. 36. *c* Eine einzelne solche Säule wieder stärker vergrößert mit den Zellkernen und ihre Zusammensetzung aus quergestreiften zusammenziehbaren Muskelfädchen.

3.

Bisher sind nus nur die Zellen der Haut begegnet und wir hatten uns damit begnügt, festzustellen, daß überhaupt der ganze Körper aus Zellen zusammengesetzt ist, etwa so, wie ein Haus aus einzelnen Steinen besteht. Nun begegnen wir einer neuen Art von Zellen. Da wollen wir denn doch zuerst ein wenig hören, was so eine Zelle eigentlich ist, die in sich all die Eigenheiten birgt, die addiert die Lebenserscheinungen darstellen. Versuchen wir uns einmal einen ganz jungen Keim vorzustellen, aus dem sich allmählich ein Tier entwickelt, also etwa die kleine weiße Scheibe, die auf dem Dotter des gerade angebrüteten Hühnereies schwimmt, die sich dann allmählich zu dem Hühnchen umformt. Mit dem Mikroskop könnten wir an diesem Keim feststellen, daß er aus bereits zahlreichen, aber einander gleichen Zellen zusammengesetzt ist (Abb. 37). Eine jede ist eine kleine Kugel jenes eigenartigen, zähflüssigen,

durchsichtigen Stoffgemenges, an das allein alle Lebenserscheinungen geknüpft sind, und das man Urbildungsmasse, auf griechisch Protoplasma nennt. Im Innern einer jeden solchen Protoplasmakugel findet sich ein Bläschen eingeschlossen, das aus etwas andersartigen Stoffen besteht, und das wir den Zellkern nennen. Von ihm werden wir später noch die interessantesten Dinge hören. Die unumgängig nötigen Bestandteile einer Zelle sind also der aus Protoplasma bestehende Zelleib und der Zellkern. Wir könnten etwa einen solchen einfachen Keim des Hühnchens, von dem wir hier reden, mit einer sehr unvollkommenen Steinhütte vergleichen, die aus nichts als gleichartigen Backsteinen aufgebaut ist. Untersuchen wir nun den erwachsenen Körper, so besteht er immer noch fast ausschließlich aus Zellen, die alle durch unendliche Vermehrung aus den Zellen des Keims entstanden. Aber wir würden eine Enttäuschung erleben, wenn wir erwarteten, immer noch eine der anderen gleich zu finden. Die Entwicklung vom Keim zum fertigen Tier bestand nämlich unter anderem darin, daß die Zellen, während sie sich immer wieder vermehrten, sich so veränderten, daß sie besonderen Aufgaben gewachsen wurden, die ihnen und nur ihnen zukommen. Eine Hautzelle sieht anders aus als eine Drüsenzelle, Nervenzelle oder Muskelzelle. Die Veränderungen betreffen hauptsächlich den Zelleib, der andere Formen annimmt, etwa zu einem langen Faden auswächst, sich gleichzeitig in seinem Innern verändert, indem das Protoplasma sich besondere Dinge aufbaut, die es zu seinen bestimmten

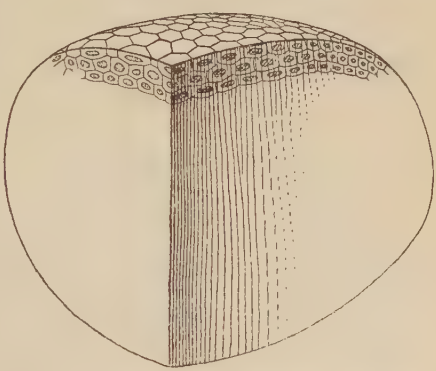


Abb. 37. Vergröberte Darstellung eines herausgeschnittenen Viertels vom sich entwickelnden Dotter des Hühnereies mit der an der Oberfläche liegenden Lage von einfachen Zellen, aus denen sich das Hühnchen entwickelt.

Tätigkeiten als Muskelzelle oder Nervenzelle gebraucht. In diesem Zustand wäre der Körper also vielleicht einem großartigen Prunkbau zu vergleichen, zu dessen Herstellung alle möglichen Steinformen verwandt werden; Säulen und Pfeiler, kunstvoll behauene Steine und die Kiesel, die zu Beton zusammengebacken werden, große Steinplatten und einfache Backsteine.

Nunmehr fragen wir uns: was geht vor sich, wenn die ursprüngliche Zelle sich in eine Muskelzelle verwandelt, wie rüstet sie sich für ihre besonderen Aufgaben aus? Da sollten wir allerdings zuerst einmal wissen, worin diese Aufgaben bestehen. Alle Jungen pflegen sich gegenseitig die Armmuskeln zu befühlen, um deren Kraft festzustellen. Der Betastete aber spannt den Muskel nach Kräften an, indem er den Arm biegt. Das ist der einfachste Versuch über die Aufgaben eines Muskels. Der betreffende Muskel — die Anatomie nennt ihn den zweiköpfigen Oberarmmuskel oder Biceps — zieht als ein wurst- oder spindelförmiges Gebilde vom Oberarm zum Unterarm. Ist der Arm ausgestreckt, so tritt er kaum aus den Formen des Oberarms hervor; wird der Arm aber gebogen, so erscheint der dicke Wulst, der Stolz des Athleten. Der Muskel hat also die Aufgabe, eine Bewegung auszuführen, hier, den Unterarm zu heben, und das tut er, indem er sich von einem langen schlanken zu einem kurzen dicken Gebilde zusammenzieht.

Wir wissen nun schon, daß sich die Gesamttätigkeit des Muskels aus all den Einzelleistungen der Millionen von Einzelzellen, die ihn aufbauen, zusammenaddiert. Somit ist auch die Aufgabe der einzelnen Muskelzelle nichts anderes als sich zu verkürzen, zusammenzuziehen, um dadurch etwas in Bewegung zu setzen. Die Umwandlung einer gewöhnlichen Zelle in eine Muskelzelle erfordert also die Ausbildung besagter Fähigkeit. Dazu sind nun vor allem zwei Dinge nötig. Eine starke Verkürzung in einer und nur einer bestimmten Richtung erfordert ein längliches Gebilde: man denke an eine gespannte Gummischnur oder Spiralfeder. Die Zelle wächst also zu einer langen Faser, der Muskelfaser, aus. Das zweite ist die Fähigkeit, sich plötzlich zusammenziehen und sich bei

Erschlaffen wieder zur alten Länge ausstrecken zu können. Das Protoplasma selbst bekommt dies sichtlich nicht genügend fertig, und so stellt es sich im Innern Dinge her, die solche Fähigkeit haben. Das sind unendlich feine Fädchen, die der Länge nach durch den Muskelleib verlaufen und je nach der Art des Muskels nur einen Teil der Zelle erfüllen oder aber sich so anhäufen, daß das ursprüngliche Protoplasma fast völlig verdrängt wird (Abb. 36 C). Wenn also der Muskel sich zusammenzieht, so bedeutet das, daß in jeder Muskelzelle die winzigen Fädchen sich alle gleichzeitig verkürzen. Erschlafft der Muskel wieder, so haben sich die Fädchen zu ihrer alten Form ausgedehnt.

4.

Wie stets, so veranlaßt auch hier eine Antwort gleich wieder eine ganze Reihe neuer Fragen. Was veranlaßt die Fädchen, sich zusammenzuziehen? Wo nehmen sie die Kraft für ihre Arbeitsleistung her? In welcher Weise wirken sie auf den zu bewegenden Teil? Was mag wohl in einem solchen Fädchen vorgehen, wenn es sich verkürzt? Als ehrliche Leute wollen wir gestehen, daß da bereits eine Frage dabei ist, die letzte, die wir nicht befriedigend beantworten können. Wir können es verstehen, daß sich ein Gummiband verkürzt, wenn es vorher ausgedehnt wurde; aber es wäre unbegreiflich, wenn es sich erst verkürzen und dann wieder ausdehnen wollte. Wir kennen zwar sehr wirksame Kräfte in der Natur, die es ermöglichen, daß ein längliches Gebilde sich zusammenkugelt, und es können auch höchst verwickelte Vorstellungen gebildet werden, wie mit Hilfe solcher sogenannter Oberflächenkräfte die Muskelzusammenziehung erklärt werden kann. Aber bis jetzt sind solche oder andere Vorstellungen, die man sich ausgedacht hat, noch keine Wirklichkeiten, und so gestehen wir lieber unsere Unkenntnis offen zu. Schließlich wollen unsere Kinder und Enkel ja auch noch etwas zu erforschen haben.

So wenden wir uns lieber der Frage zu, in welcher Weise der Muskel seine Wirkung ausübt. Ein völlig unabhängiger

freier Muskel könnte natürlich gar keine Wirkung ausüben; um etwas zu leisten, muß er zum mindesten mit dem zu Bewegenden verbunden sein. Wie das geschieht, hängt aber ganz von der Art der erforderten Bewegung ab. Die geläufigste Weise ist wohl die in unseren Gliedmaßen verwirklichte. Diese bestehen bekanntlich aus einer Reihe von Stangen und Hebeln, den Knochen, die in Gelenken gegeneinander beweglich sind. Ein Muskel, der solche Bewegung besorgt, muß, das ist klar, an dem zu bewegenden Knochen festgewachsen sein. Das geschieht, indem die dem Knochen anliegenden Muskelfäserchen sich in eine zähe, schwer zerreißbare Masse umwandeln, die man als Sehne bezeichnet. Eine solche Sehne kann sehr kurz, sie kann aber auch sehr lang sein und dadurch die Tätigkeit eines Muskels auf einen weit entfernten Knochen übertragen (Abb. 38). So erhält denn jeder Muskel die Fähigkeit, eine ganz bestimmte Bewegung hervorzurufen, und das richtige Zusammenspiel zahlreicher Muskeln ist es, das die wundervolle Harmonie einer scheinbar einfachen Arm-, Bein-, Flügelbewegung bedingt. Was für uns selbst und die uns am nächsten stehenden Tiere gilt, trifft ebenso auch zu etwa für die Bewegung des Beines eines Käfers oder der Flügel einer Fliege, nur sind hier keine Knochen vorhanden, sondern die Muskeln greifen von innen an den harten Hautpanzer an (Abb. 39).

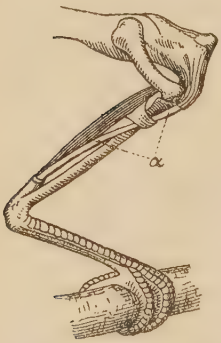


Abb. 38. Bein eines Vogels mit der langen Sehne α, die beim Zusammenklappen des Beines die Zehen zusammenzieht, ein Beispiel einer langen Sehne, die auf sinnreiche Weise die Muskelzusammenziehung in eine Bewegung mehrerer Teile umsetzt.

Es ist nun aber durchaus nicht nötig, daß gerade die beiden Enden eines Muskels sich an dem zu Bewegenden festheften. Würden wir etwa unseres Spulwurmes Muskulatur untersuchen, so könnten wir feststellen, daß all die Muskelzeller ihrer ganzen Länge nach durch unendlich feine Sehnenfädchen an der Haut befestigt sind. Ziehen die Muskelchen

sich nun etwa auf einer Körperseite zusammen, so wird die ganze Haut dort gefaltet und verkürzt; erschlaffen sie, und die Muskeln der gegenüberliegenden Seite beginnen, so verkürzt sich hier die Haut; das heißt somit, daß auf solche Weise die schlängelnden Bewegungen des Körpers ausgeführt werden. Es ist nicht schwer, sich unendliche solche oder andersartige Anordnungen von Muskelzellen vorzustellen, die jede denkbare Art von Bewegungen ausführen können: Muskelringe, die beim Zusammenziehen eine Öffnung schließen wie ein Gummizug an einem Beutel, Muskeln, die strahlig von dem Rand einer Öffnung auslaufend sie durch ihre Zusammenziehung erweitern; Muskelnetze oder Schichten, die einen Hohlraum einschließen und durch ihre Verkürzung den Inhalt des Raumes zusammenpressen oder fortschieben; solche, die diese Tätigkeit in gleichen Zwischenräumen ausüben und somit wie eine Pumpe wirken. Es läßt sich wohl keine Bewegungsform ausdenken, die nicht durch bestimmte Muskelanordnung auszuführen wäre.

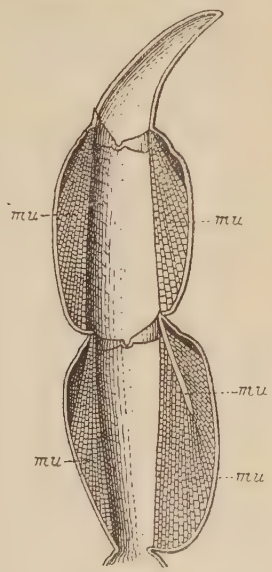


Abb. 39. Aufgeschnittenes Stück eines Krebsfußes, um die Anordnung der Muskelbündel in den Gliedern zu zeigen. *mu* Muskeln.

Ehre, wem Ehre gebührt! Es gibt wohl keine Bürger des Zellenstaats, mit alleiniger Ausnahme der Gehirnzellen, die wir dauernd mehr bewundern als die kleinen Muskelzellen. Wir bestaunen die Kraft des Löwen und des Stieres, die Schnelligkeit des Rennpferdes und Windhundes, die Ausdauer der Möwe und des Zugvogels; wir bewundern die Kraft des Athleten, die Handgeschicklichkeit des Handwerkers und Künstlers, die Ausdauer des marschierenden Soldaten. All das sind aber Leistungen der Muskelzelle. Es ist uns auch

nicht unbekannt, was in erster Linie die Kraft solcher Muskeln bedingt. Die gewaltigen Muskeln des Athleten neben den schmächtigen des Stubenhockers, der Stiernacken, die Schenkel des Arbeitspferdes zeigen, daß es hauptsächlich die Masse der arbeitenden Muskelzellen ist, die die Kraftleistung bedingt; die erzielte Wirkung zeigt dann das Verhältnis dieser Kraft zu dem zu überwindenden Widerstand. So betrachtet erscheint uns nicht nur der Stier als Sinnbild der Kraft, sondern auch der Floh und das Heupferd mit ihren mächtigen Springmuskeln, die Auster, die mit ihrem Schließmuskel die beiden Schalen so aufeinanderpreßt, daß sie nur mit der Gewalt des Brecheisens geöffnet werden können; gar nicht von ihrem Vetter zu reden, der Riesenmuschel warmer Meere, die harmlos zwischen Korallenblöcken haust und ihre Schalen mit solcher Kraft schließen kann, daß mühelos der Fuß eines hineintretenden Badenden abgeschnitten wird. Wenn man aber recht klar mit eigenen Augen die Kraft eines Muskels sehen will, lasse man sich einmal von einem Physiologen die kleine Einrichtung zur direkten Messung der Muskelkraft zeigen: ein von einem frisch getöteten Frosch stammender Wadenmuskel wird an einem Gestell so befestigt, daß er, wenn er sich auf künstlichen Reiz zusammenzieht, direkt ein Gewicht hochhebt.

Etwas anders sieht es mit der Geschwindigkeit eines Muskels aus, also seiner Fähigkeit, sich sehr schnell zusammenzuziehen. In dieser Beziehung verhalten sich die Muskelzellen recht verschiedenartig. Manche vermögen sich nur mit aller Behaglichkeit zusammenzuziehen, andere wieder zucken wie der Blitz zusammen. Zweifellos beruht das auf besonderen Einrichtungen in der Zelle, von denen sich ein bißchen auch mit dem Mikroskop erkennen läßt. In allen Muskelzellen erscheinen die feinsten Fädchen, die die Zusammenziehung ja besorgen, entweder ganz gleichförmig, oder sie bestehen aus abwechselnden Teilen verschiedener Durchsichtigkeit, so daß das Fädchen feingeringelt oder quergestreift erscheint (Abb. 36 C). In unserem Körper sind alle eigentlichen Bewegungsmuskeln so mikroskopisch quergestreift, aber nicht die Muskeln der Eingeweide. Bei dem Spulwurm und vielen

anderen Tieren gibt es überhaupt keine quergestreiften Zellen. Bei wieder anderen können die Muskelzellen bald quergestreift sein, bald nicht, und dabei zeigt es sich, daß sie gestreift sind, wenn der Muskel schnelle Bewegungen auszuführen hat, nicht gestreift, wenn er langsam aber ausdauernd arbeitet. So scheint denn die Geschwindigkeit der Zusammenziehung mit solchem Aufbau der Muskelfädchen zusammenzuhängen. Wie groß diese Geschwindigkeit aber sein kann, sollte jeder wissen, der sich schon einmal in einer schwülen Sommernacht über eine Schnake ärgerte, die ihm um die Nase summte. Dabei tat das Tierchen gar nichts, als ihm einen Versuch über die Geschwindigkeit der Muskelzusammenziehung vorzuführen. Denn die schnell sich folgenden Flügelschläge, mehrere Hundert in einer Sekunde, die den summenden Ton ergeben, bedeuten ebenso viele Zusammenziehungen der Flügelmuskeln, die wohl die hurtigsten aller Muskelzellen sind.

5.

Es ist wohl nicht gar so lange her, daß man in jeder Stadt einen Sonderling auftreiben konnte, einen jener „Erfinder", die es sich in den Kopf gesetzt hatten, das Perpetuum mobile zu bauen, die Maschine, die sich bewegt und arbeitet, ohne daß ihr Kraft zugeführt wird. Heute lachen wir über dergleichen, lernt doch jeder Schuljunge, daß eine solche Maschine unmöglich ist, so unmöglich, wie eine Pfeife, aus der man dauernd rauchen kann, ohne sie wieder zu stopfen. Wir wissen, daß Arbeit — und eine sich bewegende Maschine leistet Arbeit — nicht von Nichts kommen kann, daß Bewegung nur erzeugt wird durch Umwandlung einer Leistung in eine andere: die Wärme im Dampfkessel wird in die drehende Bewegung des Schwungrades, die zugeführte Elektrizität in die Drehung der Welle des Motors umgewandelt. Jede Maschinenleistung braucht eine Kraftquelle und die geleistete Arbeit entspricht dem Umfang der Quelle. Wer einmal auf einem Ozeandampfer gefahren ist, weiß, daß das tägliche Gespräch der Reisenden sich darum dreht, daß das Schiff zu langsam fahre, weil der Kapitän an Kohlen spare.

Also mehr Kohlen, mehr Heizung, mehr Umdrehungen der Maschine, größere Geschwindigkeit. Die zu verbrennende Kohle ist die Kraftquelle der Dampfmaschine.

Wo liegt nun aber die Kraftquelle der Muskelmaschine? So ganz im allgemeinen werden wir die Antwort schnell geben können; denn der aufmerksame Leser ist ja jetzt schon sehr klug. Er weiß, daß der Sauerstoff der Atemluft dazu dient, die Nahrungsstoffe zu verbrennen: wenn also im Muskel verbrennungsfähige Stoffe vorhanden sind, dann haben wir ja die nötige Kraftquelle. Nun sehe ich aber im Geiste allerlei stutzige Gesichter, und sollte gar ein Schwabe unter den Lesern sein, so höre ich ihn sagen: „Gäbele, jetzt lügscht!" Gewiß fällt es zunächst schwer, sich eine Verbrennung ohne Hitze und Flamme vorzustellen und dazu eine Maschine, die daraus gespeist wird und sich gar nicht recht wie eine der bekannten Maschinen benimmt. Aber besinnen wir uns auf das schon früher Gehörte. Das Wesen einer Verbrennung ist nicht Hitze und Flamme, das sind vielmehr nur gelegentliche Begleiterscheinungen. Das Wesen ist vielmehr die Zerlegung eines Stoffes in andere unter Aufnahme von Sauerstoff. Wenn Kohle verbrannt wird, bedeutet es, daß der Kohlenstoff sich mit Sauerstoff zu Kohlensäure verbindet. Bei einer solchen Umwandlung wird nun die den Stoffen innewohnende Energie frei. Energie aber kann in verschiedener Weise zur Äußerung kommen; die für uns wichtigsten Arten sind Wärme und Bewegung. Wenn nun in der Dampfmaschine durch Verbrennung der Kohle Energie frei wird, so benutzen wir sie in der Form von Wärme, um Dampf zu erzeugen. Der Dampf aber setzt den Kolben in Bewegung — die Energie der Kohle wurde also erst in Wärmeenergie und dann in Bewegungsenergie umgesetzt. Das ist aber ein sehr schlechtes Verfahren, das wir leider bis jetzt nicht verbessern können. Man kann ja berechnen, wieviel Energie einer bestimmten Menge Kohle innewohnt und kann das mit der Bewegungsleistung der Maschine, die wir in Pferdekräften ausdrücken, vergleichen. Dabei zeigt es sich, daß nur ein unerwartet kleiner Teil der Energie nutzbar gemacht wurde. Der größte Teil ging unrettbar als Wärme verloren.

Nun kehren wir wieder zu unserer Muskelmaschine zurück, und fragen zunächst nach den Kohlen, die sie verbrennt. Es ist gar nicht so schwer, sie zu Gesicht zu bekommen. Wir kochen einen Muskel mit etwas angesäuertem Wasser aus und setzen dann der Brühe Alkohol zu, dann setzt sich ein feines weißes Pulver am Boden ab, die Kohle des Muskels. Wir nennen sie tierische Stärke und dabei fällt uns ein, daß sie uns bereits bekannt ist als einer jener Stoffe, die durch die Wirkung der Enzyme aus der Nahrung gebildet werden, und dann im Kohlenkeller des Körpers, dem Leib der Muskelzelle — es gibt auch noch andere Kohlenbunker, z. B. in der Leber — lagern, bis die Maschine sie benötigt. Wenn nun diese Kohle verbrennt, also unter Mitwirkung des Sauerstoffs zerlegt wird, wird die Energie losgelassen, die wir dann als Muskelbewegung zu sehen bekommen. Bei der Dampfmaschine wurde die Energie der Kohle erst in Wärme verwandelt. Die Energie der Muskelkohle wird nicht erst in Wärme umgesetzt, sondern auf irgendeinem anderen Wege in Bewegungsenergie verwandelt. Dabei arbeitet die Muskelmaschine erfolgreicher als irgendeine Dampfmaschine von Menschenhand, indem sie aus einer gegebenen Menge Brennmaterial ein mehrfaches wie jene in Bewegung umzusetzen vermag.

Nun halten wir einmal einen Augenblick an, um uns klar zu machen, welche weiten Aussichten sich hier auftun. Vor uns liegt in der Schüssel ein Spulwurm, der schlängelnde Bewegungen ausführt, die Wirkung der Zusammenziehung seiner Muskelzellen. Die Quelle der Kraft dieser Muskelzellen ist der Kohlenkeller in ihrem Innern, die Kohle ist die tierische Stärke. Diese wieder stammt aus der Nahrung, die der Wurm aufgenommen und in seinem Körper in das Brennmaterial für die Muskeln umgewandelt hat. Die Nahrung des Wurmes stammt hinwiederum aus dem Darm des Menschen, der ihn beherbergte. Dieser hatte vielleicht ein Stück Ochsenfleisch gegessen. Der Ochse aber hatte sein Fleisch aus seiner Nahrung aufgebaut, aus Gras und Heu. Woraus aber baut das Gras seine Bestandteile auf? Aus den Salzen des Bodens, dem Wasser und den Gasen der Luft. Die Energie aber, die

das Gras braucht, um aus solchen Stoffen seinen Körper aufzubauen, erhält es von den Strahlen des Sonnenlichtes. So sind die Bewegungen unseres Wurmes in letzter Linie durch das Sonnenlicht ermöglicht, dem er in seinem dunklen Gefängnis zeitlebens entrückt ist.

6.

Eine Schwalbe fliegt vor dem Fenster vorüber, ein Hund läuft über die Straße, eine Fliege krabbelt über das aufgeschlagene Buch. Ihre Bewegungen sind uns nun kein Geheimnis mehr. Nicht allzuviel Phantasie gehört dazu, sich auszumalen — denn es fehlt uns jetzt die Zeit, es Schritt für Schritt in genauester Arbeit festzustellen —, wie Millionen von Muskelzellen in geordneter Weise zusammen arbeiten müssen, um solche Bewegungen zustande zu bringen. Jede einzelne von ihnen vermag sich nur zusammenzuziehen und zu erschlaffen, jeder aus zahlreichen Zellen bestehende Muskel kann nur ein Glied oder sonstigen Körperabschnitt in einer Richtung verschieben. Aber da zieht ein Muskel nach oben, ein anderer ein wenig nach der Seite, ein dritter läßt gleichzeitig eine Drehbewegung entstehen, während ein vierter vielleicht einen anderen Drehpunkt sperrt. Aus einer Fülle solcher zusammenarbeitenden Wirkungen setzt sich dann eine einfach erscheinende Bewegung zusammen (Abb. 40). Wir kennen ja viele Maschinen, deren regelmäßige Bewegung sich aus der Gesamtwirkung von Einzelbewegungen von Rädern, Stangen, Federn zusammensetzt. Läuft die Maschine, so kann aber die Gesamtheit der Räder usw. immer doch nur die eine Bewegung hervorbringen mit der Regelmäßigkeit einer — Maschine. Vergleichen wir damit aber jene Muskelmaschine, sagen wir eine menschliche Hand. Soeben vereinigen sich die Räder und Stangen, d. h. die Einzelmuskeln, zu einer Bewegung, etwa Greifen, im nächsten Augenblick zu einer ganz anderen Bewegung, etwa Klavierspielen. Jedes Rad kann also für sich in Betrieb gesetzt werden und mit allen möglichen anderen zusammen arbeiten, die Maschine kann in jedem Augenblick aus ihren Bestandteilen zu einer anderen Art von Maschine umgebaut werden.

Abb. 40. Die verschiedenen Muskeln und Sehnen der menschlichen Hand, in vier verschiedenen Schichten freigelegt.

Wo ist da nun der Ingenieur, der solche Aufgabe zu vollbringen vermag? Da fällt mir ein Geschichtchen ein, das uns die Antwort ohne jeden Aufwand an Gelehrsamkeit gibt. Ein Freund hatte mir in unseren jungen Haushalt einen prächtigen Aal aus seinem Fischwasser geschickt. Als ich in angenehmer Erwartung des Leckerbissens von der Arbeit nach Hause kam, fand ich die weiblichen Glieder des Hauses in voller Auflösung vor. Die Zubereitung des Aales hatte sozusagen einer Schlacht geglichen. Als der tote Fisch zerschnitten wurde, begannen die einzelnen Stücke sich heftig zu bewegen und eines war sogar noch aus dem Kochtopf gesprungen. Da hatte also der geheimnisvolle Ingenieur noch die Muskeln der zerschnittenen Stücke des Tieres in Bewegung gesetzt. Dabei war das Tier, wie bei Fischen üblich, durch Schlagen auf den Kopf oder Durchschneiden des Genicks getötet worden. Sichtlich hatte das aber auf unseren Ingenieur keinen großen Eindruck gemacht.

Wollt ihr nun wissen, wie auch ihm der Garaus gemacht wird, so begleitet mich in eine der volkstümlichen Aalküchen des fernen Tokyo, wo der köstlichste Aal in zierlichen Lackkästchen aufgetischt wird. Dort waltet in der Küche ein Mann seines Amtes, der mit unglaublicher Geschicklichkeit den Fisch für die Pfanne vorbereitet. Mit einem Pflock, der durch den Kopf getrieben wird, wird er getötet und gleichzeitig festgespießt. Ein geschwinder Schnitt mit einem haarscharfen Messer spaltet das Tier in zwei Längshälften, ein zweiter schneller Schnitt entfernt vollständig die ganze Rückengräte mit dem Rückenmark, ehe der Aal Zeit gehabt hat, nur eine Zuckung zu machen. Jetzt zuckt er aber auch nicht mehr und springt nicht aus der Pfanne: denn mit dem Rückenmark wurde der vielbesprochene Ingenieur entfernt.

Es braucht nun wohl kaum noch gesagt zu werden, daß vom Rückenmark oder einem entsprechenden Teil des Nervensystems Nervenfäden ausgehen, die zu jeder Muskelzelle im Körper gelangen und ihr die Befehle des Meisters überbringen (Abb. 41). Es kommt uns auch nicht sehr unerwartet, zu hören, daß man ohne Schwierigkeit dem Bein eines Frosches einen Muskel mitsamt dem daranhängenden Nervenfaden ent-

nehmen und ihn zur Arbeit zwingen kann, indem man den Nerv mit einem elektrischen Strom (der da die Stelle des befehlenden Ingenieurs vertritt) reizt; und daß auch jede Muskelzelle des Spulwurmes, der Fliege, der Schnecke, ihren Nervenfaden besitzt, der ihr den Befehl zum Zusammenziehen zuführt. Die Arbeit der Nervenfasern aber wird kontrolliert und geordnet in den Zentralteilen der Nerventätigkeit, Gehirn und Rückenmark, wie wir bald sehen werden.

Abb. 41. Stückchen eines Bündels von Muskelfasern einer Eidechse. Von links kommt ein Nerv, der mit eigenartigen Endplatten an einer jeden Muskelfaser endigt.

An dem Flügel sitzt ein großer Künster und bannt uns mit einem Werke Bachs oder Beethovens in das Reich ewiger Schönheit. In seinem Gehirn arbeitet angestrengt der Obermaschinenmeister, auf ungezählten Nervendrähten seine Befehle an ein Heer von Untergebenen im Rückenmark sendend. Sie aber schalten bald diesen, bald jenen Draht in ungezählten Zusammenstellungen ein, in dem der Befehl zum Zusammenziehen zu den Muskelzellen und Gruppen von Muskelzellen in Hand und Arm des Künstlers geleitet wird. Hier erhält ein Muskel den Befehl, sich rasch, dort einer den Auftrag, sich langsam und vorsichtig zusammenzuziehen, dieser zu erschlaffen, jener zusammengezogen zu bleiben, dieser nur hie und da zu arbeiten, jener mit unheimlicher Geschwindigkeit seine Arbeit zu wiederholen. Die Finger fliegen über die Tasten und finden doch noch Zeit, durch feine Änderungen ihrer Bewegung die Betonung zu geben, die dem Spiel sein Leben verleiht und die

wir als Kunst empfinden. Die Zuckungen all der unendlichen kleinen Muskelzellen sind es, die unsere kunstfreudige Seele vor dem Flügelschlag der Ewigkeit erschauern lassen.

Fünfter Abschnitt.

Wenn wir eine Ausstellung besichtigen, wandern wir von Raum zu Raum, ihre Schätze zu genießen. Ist unsere Zeit abgelaufen, so kehren wir nach Hause zurück, um vielleicht am nächsten Tag da zu beginnen, wo wir aufgehört hatten. Unser Gang durch die Wunderwelt der Lebewesen kann aber nicht so einfach verlaufen. Wir haben zwar auch die Sehenswürdigkeiten auf verschiedene Zimmer verteilt und besichtigten nacheinander die Gruppe Form und Farbe, die Gruppe Haut, die Gruppe Muskel. Aber all dies ist ja nur künstlich, der Ordnung halber auf die verschiedenen Räume verteilt, hängt in Wirklichkeit aber auf das engste zusammen. So müssen wir oft, um den Inhalt einer Gruppe verstehen zu können, einen schnellen Blick in eine andere tun. Da ist es uns in den bisherigen Betrachtungen öfters widerfahren, daß wir uns gezwungen sahen, dem Raum mit der Überschrift „Nerven" einen kurzen Besuch abzustatten. Laßt uns nun in ihn zu einem längeren Aufenthalt eintreten!

1.

Wir wissen bereits, daß auch unser Spulwurm Nerven besitzt, denn seine Muskeln können sich ebensowenig ohne den Antrieb von Nerven bewegen, wie die eines anderen tierischen Lebewesens. Wir werden aber auch nicht erstaunt sein, zu finden, daß sein Nervensystem ein recht einfaches ist, wenn wir uns erst darüber klar geworden sind, was ein Nervensystem im Körper zu leisten hat.

Man hat oft in den vergangenen Jahren gelesen, daß der Generalstab das Nervenzentrum des Heeres sei, ein gar nicht schlechter Vergleich. Ein Blick auf den Gegenstand des Ver-

gleichs lehrt uns mühelos das Wesen eines Nervensystems erkennen. Da arbeiten draußen am Rande der Armee ihre Kundschafter, um Nachrichten von der Außenwelt, dem Feinde zu erhalten. Die Augen des Heeres, die Flieger, erspähen die feindlichen Stellungen, die Fühler des Heeres, die Patrouillen, tasten die feindliche Front ab, die Ohren, das sind die Horchposten, belauschen seine Angriffsvorbereitungen. Über die Drähte des Telephons gelangen die Nachrichten zur nächsten Zentrale. Hier sitzt ein Befehlshaber, der auf bestimmte Berichte hin sofort durch Vermittlung eines anderen Drahtes die Muskeln des Heeres, die Truppen, in Bewegung setzt. Er mag aber auch seine Nachrichten der Zentrale der benachbarten Truppenteile mitteilen, die nun auch ihren Muskeln Befehle erteilt. Andere Nachrichten aber werden zu den höheren Befehlshabern weitergegeben und gelangen schließlich an das Zentralnervensystem der Armee, den Generalstab. Dort werden sie verarbeitet, in Befehle umgesetzt, die dann auf den Drähten nach allen Richtungen eilen und zahlreiche Truppenteile, Muskelgruppen, zu gemeinsamem Handeln in Bewegung setzen.

Ganz entsprechend arbeitet aber in seinen Grundzügen ein jedes Nervensystem. Außen an der Oberfläche des Leibes liegen die Sinnesorgane, die die Reize der Außenwelt, wie Licht, Schall, Temperatur, Druck, chemische Beschaffenheit, Schwerkraft empfinden. Den Eindruck, den sie erhalten, senden sie auf den Telegraphendrähten des Nervensystems, den Nervenfäden, nach dem Zentrum, dem Gehirn oder Rückenmark oder gleichwertigen Teilen niederer Tiere. Hier wird der Reiz entweder sofort in einen Befehl umgesetzt, der auf einem anderen Nervenfaden — dies ist jetzt ein tätigkeitsleitender im Gegensatz zu dem vorher genannten empfindungsleitenden — zu einer Muskelzelle oder Gruppe von Muskelzellen übertragen wird; oder aber der Reiz gelangt innerhalb der Zentrale erst zu verschiedenen anderen Stellen, in denen beschlossen wird, was geschieht, ehe der Befehl an die Muskeln hinausgegeben wird.

Wir dürfen also erwarten, ein Nervensystem zum mindesten solcher Art bei dem einfachsten und stumpfsinnigsten Lebe-

wesen zu finden und können uns auf der anderen Seite leicht vorstellen, wie das Organ immer verwickelter aufgebaut sein muß, je höher die Leistungen des Tieres auf allen Gebieten sind. Die verschiedenen Stufen würden, um bei unserem Vergleich zu bleiben, etwa entsprechen den Stufen der kriegerischen Organisation einer Horde Wilder bis hinauf zu der neuzeitlichen Armee. Bei dem Spulwurm werden wir in dieser Beziehung keine sehr großen Erwartungen hegen, denn es gibt nicht viele Erregungen, die ihn treffen und nicht viele Tätigkeiten, mit denen er antworten kann. Die Schlängelungen seines Körpers sind von denkbarster Einfachheit und er ist sonst nur einer einzigen besonderen Bewegung fähig, der Umklammerung der Geschlechter bei der Begattung. Jedenfalls sind auch die Sinnesreize, deren Empfindung für ihn lebensnotwendig ist, sehr einfacher Natur. Er mag wohl eine Art Geschmack haben, um die Beschaffenheit seiner Umgebung festzustellen, und er muß auch über Tastsinn verfügen, um den Fortpflanzungsakt richtig ausüben zu können. Dies wird wohl alles sein, obwohl wir es nicht ganz genau sagen können. Daher sind zwischen Empfindung und Bewegung nur sehr einfache Leitungsvorgänge zu erwarten, denen auch wohl ein sehr einfaches Nervensystem entsprechen wird.

2.

Da kommt uns nun aber eine Zwischenfrage in die Quere. Wir sprachen nur immer von Nervenfäden und Nervenzentren, ohne uns weiter den Kopf darüber zerbrochen zu haben, was das wohl bedeutet. Nach allem, was wir nun schon über den Bau des Körpers wissen, müssen diese Teile aber eine bestimmte Zusammensetzung haben. Wir fanden die Haut aus zahllosen Zellen zusammengesetzt, und auch der Muskel erwies sich als eine Anhäufung von Muskelzellen; so werden wir wohl auch beim Nervensystem eine Zusammensetzung aus Zellen erwarten. In dieser Erwartung werden wir denn auch nicht getäuscht, wenn auch diese Zellen ganz anders aussehen als die bisher betrachteten. Wenn wir aber überlegen, was sie zu leisten haben, so werden ihre Besonderheiten uns

geradezu als notwendig erscheinen. Einmal haben sie die Nervenzentren zu bilden, also die entscheidenden Teile des Telegraphenamtes, in das alle die nachrichtenbringenden Drähte einlaufen und von dem alle befehlsfortführenden Drähte ausstrahlen. Die Nervenzellen müssen also alle die Telegraphenapparate zusammensetzen nebst allen Drahtverbindungen in- und außerhalb des Amtes. So kommt es, daß die eigentliche Zelle, das aus Zelleib und Zellkern bestehende winzige Klümpchen lebenden Stoffes, aus seinem Leib längere oder kürzere Fäden auswachsen läßt, die man die Nervenfäden oder Nervenfasern nennt. Sie hatten wir bisher den Telegraphendrähten verglichen, während der eigentliche Zelleib, von dem sie auswachsen, den Telegraphenapparat in dem Bild darstellte. Nun ist es unschwer vorzustellen, wie die Nervenfasern sich teilen und verzweigen, um alle möglichen Verbindungen mit anderen Zellen herzustellen, ferner wie die Zellen, je nach der Art ihrer Aufgabe mehr oder weniger einfachere oder reich verzweigte Fortsätze, Nervenfasern, von ihrem Leib ausgehen lassen (Abb. 42).

Nun übertragen wir einmal diese Kenntnis auf das, was wir bereits von den notwendigen Teilen eines Nervensystems wissen. Da müssen denn die reizaufnehmenden Teile, die sogenannten Sinnesorgane, wie Lichtorgane oder Augen, Schallorgane oder Gehör, Tastorgane, Schmeckorgane, Nervenzellen enthalten, die für diese besonderen Reize empfindlich sind. Wir nennen sie Sinneszellen, im einzelnen Sehzellen, Hörzellen, Tastzellen, Schmeckzellen. Jede solche Zelle muß einen Nervenfortsatz oder Nervenfaden besitzen, der nach dem Zentrum, sagen wir nach dem Gehirn verläuft und den empfangenen Reiz dorthin weiterleitet. Diese Nervenfaser ist dann eine empfindungsleitende Faser, die zur Sinneszelle gehört. Im Zentrum angelangt, mag sie sich nun mit einer oder vielen Zellen verbinden, die die Aufgabe haben, den empfangenen Reiz nach verschiedenen Richtungen hin weiterzugeben. Wir können also erwarten, daß diese Umschaltezellen verschiedene Fortsätze nach allen möglichen Richtungen senden, Schaltfasern, die sich vielleicht wieder mit anderen Schaltzellen verbinden oder aber zu den richtigen befehl-

aussendenden Zellen führen. Von diesen aber gehen Fortsätze, Nervenfasern, aus, die den Befehl zur Tätigkeit den Muskeln (oder auch Drüsen) überbringen, die tätigkeitsleitenden Fasern

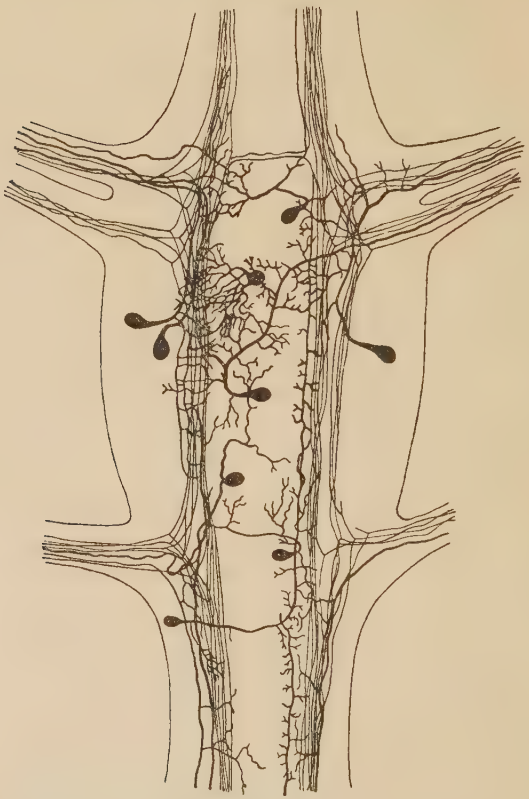


Abb. 42. Stück vom Bauchmark eines Regenwurmes. Schwarz die Nervenzellen mit ihren vielfach verästelten Ausläufern und den von ihnen entspringenden langen Nervenfasern. Nur ein kleiner Teil der vorhandenen Nervenzellen ist eingezeichnet.

(Abb. 43). So gliedern sich also die Nervenzellen mit ihren Fortsätzen in Sinneszellen, empfindungsleitende Nervenfasern, Schaltzellen und Verbindungsfasern, Befehlszellen und tätigkeitsleitende Fasern.

Das klingt zweifellos sehr einfach; ja, man möchte sagen, daß es eigentlich gar nicht anders sein könne. Das ist nun hinterher leicht gesagt; und doch, welche hingebende und aufopfernde Arbeit von Tausenden stiller Gelehrter war nötig, um die scheinbar so einfachen Dinge festzustellen. Wo immer in der Wissenschaft ein Fortschritt gemacht wird, lauert an der Ecke der Zweifel und tausendmal muß dies Gespenst vernichtet werden, ehe es dauernd verschwindet. Laßt uns einmal einen kleinen Blick in die Forscherwerkstatt tun, um

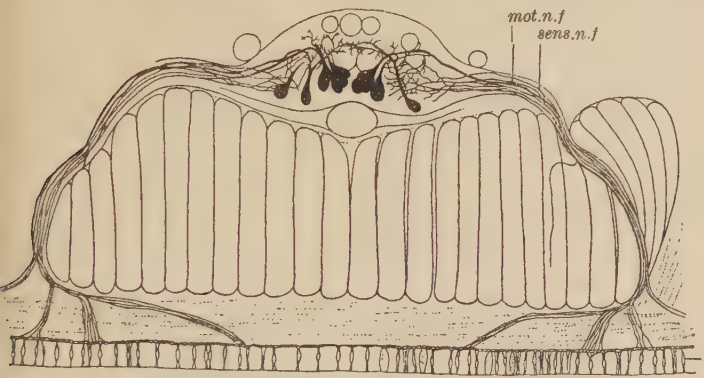


Abb. 43. Querschnitt durch ein Stück des Bauchteiles eines Regenwurmes. Das Bauchmark ist durchschnitten mit den darin liegenden schwarzen Nervenzellen, von denen Nervenfasern zu den Muskeln verlaufen. In das Bauchmark treten die Nervenfasern ein, die von den Sinneszellen in der Haut kommen. *si.z.* Sinneszellen der Haut. *sens.nf*, Empfindungsleitende Nervenfasern. *mot.nf.* Befehlsleitende Nervenfasern.

uns zu überzeugen, wie mühsam jeder Fortschritt errungen werden muß. Wir wollen annehmen, daß die Erkenntnis des zelligen Baues des Körpers bereits errungen ist, obwohl uns kaum 90 Jahre von jener Entdeckung trennen und noch manches Jahrzehnt verging, bis jeder Zweifel daran durch mühselige Einzelarbeit beseitigt wurde. Vor uns liegt unter dem Mikroskop ein Stückchen aus dem Gehirn eines Menschen oder einer Ameise, eines Krebses oder eines Wurmes, in geeigneter Weise hergerichtet — Jahrzehnte hat es erfordert, um zu lernen, wie man es am besten herrichtet —, um es untersuchen zu können. Da erkennen wir hie und da deut-

lich heraustretend die Leiber von Zellen und ihre Kerne und sehen auch Fortsätze von ihnen ausgehen (Abb. 44). Aber ein Versuch, sie zu verfolgen und in das wahnsinnige Gewirr durcheinandergeflochtener Fasern Ordnung zu bringen, erscheint hoffnungslos. Da war nun erst zu entdecken, wie man derartige Nervenpräparate mit färbenden Stoffen durchtränken kann, die die Eigenschaft haben, nur hie und da in einer Zelle mitsamt all ihren Fortsätzen und Nervenfäden sich anzuhäufen, so daß sie nun in anderer Farbe deutlich aus dem Bild heraustritt (Abb. 45). Dies erlaubte dann in unendlich mühsamer Arbeit, einen Einblick in die Zusammensetzung eines Nervensystems aus verschiedenen Zellarten zu gewinnen.

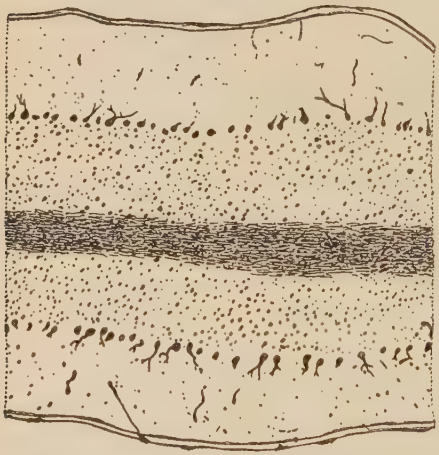


Abb. 44. Durchschnitt durch ein Stück des Kleinhirns, wie es bei gewöhnlicher Behandlung erscheint.

Nun erhob sich aber ein großer Zweifel, dessen Beseitigung nicht nur für die richtige Erkenntnis von Wichtigkeit ist, sondern auch für all die Teile der menschlichen Nervenkunde, die die Grundlage für die Tätigkeit des Nervenarztes liefern. Denken wir uns etwa einen Walfisch oder ein ähnliches riesengroßes Tier. In seinem Körper gibt es unter anderem Nervenfäden, deren Ursprungszellen im Kopf liegen, die aber weit nach hinten im Leib laufen; es muß also eine einzelne mikroskopische Zelle einen vielen Meter langen Nervenfortsatz gebildet haben. Das erschien nun recht zweifelhaft, und die Zweifel wurden dadurch bestärkt, daß solche Nervenfäden der Wirbeltiere stets von anderen Zellen begleitet sind, die eine schützende Hülle um den zarten Faden bilden. Da lag nun der Gedanke nahe, daß es diese Hüll-

zellen selbst sind, die den Nervenfaden erzeugen. Unendliche Arbeit war nötig, um zwischen diesen beiden Möglichkeiten zu entscheiden. Da mußte zunächst die Entwicklung solcher Nerven vom Augenblick ihrer Entstehung an verfolgt werden. Aber die sehr schwierigen Beobachtungen blieben widerspruchsvoll. So hieß es denn, durch kunstvoll ausgeführte

Abb. 45. Ungefähr die gleiche Stelle wie Abb. 44 mit all den verwickelten Arten von Nervenzellen und Nervenfäden, die nach Schwärzung mit Silber zum Vorschein kommen.

Versuche die Natur zu einer klaren Antwort zu zwingen. Etwa folgendermaßen:

Man wußte, daß die Zellen, von denen die tätigkeitsleitenden Nervenfäden eines Wirbeltieres ausgehen, in der der Bauchseite zugekehrten Hälfte des Rückenmarks liegen. Man wußte ferner, daß jene anderen Zellen, die eine Hülle um den auswachsenden Nerv bilden, auf der Rückenseite des Rückenmarks gebildet werden, und von da zu dem entstehen-

den Nervenfaden hinwandern. Ein geschickter Forscher nahm also ganz junge, nur wenige Millimeter große Froschlarven, die sich in einem Alter befanden, in dem jene Entwicklungsvorgänge gerade stattfinden und trennte mit einem Schnitt die Rückenhälfte des Rückenmarks ab (Abb. 46). Da die Tierchen sich nicht weiter entwickeln können, wenn die Wunde nicht zuheilt, andernteils aber auch verhindert werden mußte, daß der abgeschnittene Teil sich wieder ergänzt, etwa wie das so oft genannte Salamanderbein, so wurde eine zweite Froschlarve ebenso operiert und die beiden dazu gebracht, mit den Wundflächen gegeneinander, also Rücken an Rücken zusammenzuwachsen. So entstand ein Doppelwesen mit nur einem Rückenmark, welch letzteres aber aus zwei bauchseitigen Hälften zusammengewachsen war. Wenn nun die Nervenzellen gebildet wurden, waren keine von den Hüllzellen da, die eine Täuschung veranlassen könnten, und so konnte mit Sicherheit festgestellt werden, daß wirklich der Nervenfaden allein aus der Nervenzelle auswächst.

Auf einem anderen Weg wurde, wieder in unendlich mühsamen Einzelversuchen, das gleiche Ergebnis erzielt. Es hatte sich gezeigt, daß ein tätigkeitsleitender Nerv, wenn durchschnitten, jenseits von dem Schnitt zugrunde geht, wobei das mit der Nervenzelle im Zentralorgan zusammenhängende Ende des Fadens als diesseits bezeichnet wird. Nach einiger Zeit wächst aber der zerstörte Teil wieder nach. Es fragte sich nun, ob die Neubildung durch Auswachsen des zurückgebliebenen Stumpfes erfolgt oder ob sie unabhängig davon stattfindet. So einfach die Frage erscheint, so bedurfte es doch außerordentlicher Mühe und wohlausgedachter Versuche, um nachzuweisen, daß das Auswachsen nur vom Stumpf, also von der Richtung der Nervenzelle aus erfolgt. Diese Erfahrungen geben nun auch das Mittel an die Hand, auf das genaueste festzustellen, zu welchen Nervenzellen bestimmte Nervenfäden in dem verwickelten Nervensystem höherer Tiere gehören. Denn da liegen in einem kleinen Gehirn- oder Rückenmarkteilchen Tausende von Zellen und zahllose Nervenfäden gehen zu einem Nervenbündel vereinigt in den Körper hinaus oder kommen von den Sinnesorganen draußen in

den Körper hinein. Da nun immer nur der Teil des Nervenfadens zugrunde geht, der von seiner Zelle getrennt ist, so

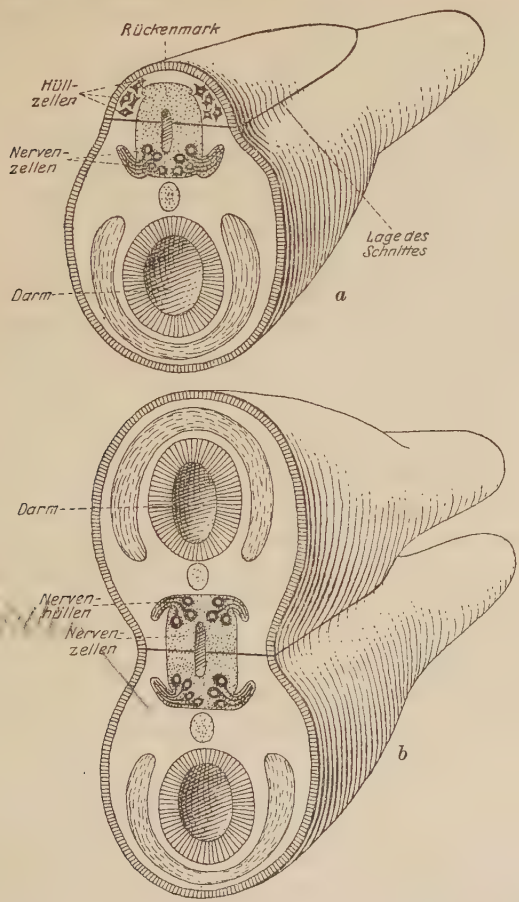


Abb. 46. Darstellung der Harrisonschen Operation zum Nachweis des selbständigen Auswachsens der Nervenfasern aus den Nervenzellen. — *a* Ein Stück der Kaulquappe mit Angabe der Schnittführung. *b* Das Hinterende der beiden aneinander geheilten Individuen.

braucht man nur nach Durchschneidung eines Nerven festzustellen, in welcher Richtung seine Fasern absterben. Ist es

die Richtung vom Zentrum weg, so war es eine tätigkeitsleitende Faser, ist es nach dem Zentrum hin, so war es eine empfindungsleitende, deren Nervenzellen ja draußen im Sinnesorgan liegen. So ließ sich durch geduldige Anwendung des Verfahrens vieles über die Art der verschiedenen Nervenfasern ermitteln. Aber das genügte immer noch nicht; es mußte gezeigt werden, daß wirklich nachweisbar die Erregung im Nerv in einer bestimmten Richtung läuft. Man mußte also zuerst wissen, woran man einen erregten, arbeitenden Nervenfaden von einem ruhenden unterscheiden kann. Es zeigte sich, daß dies durch Beobachtung feiner elektrischer Veränderungen möglich ist, die bei der Erregung im Nervenfaden auftreten und mit feinen Instrumenten festgestellt werden können. Aus der Art des Auftretens dieser Erscheinungen im erregten Nerv ließ sich dann mit Sicherheit vieles die Reizleitung im Nerv Betreffende feststellen. All dies sind nun nur Andeutungen eines ganz kleinen Teiles der Arbeit, die nötig war, um die Grundzüge von Bau und Arbeitsweise des Nervensystems festzustellen. Gar vieles ist dabei nicht einmal angedeutet worden. Wir wollten ja nur einen kleinen Begriff davon geben, auf wieviel Arbeit und Mühe sich die einfachste Erkenntnis im Reich der Wissenschaft aufbaut und gleichzeitig andeuten, daß hinter den wichtigsten Tatsachen, die wir hier kennen zu lernen suchen, noch ganze Wissensgebiete stehen, von denen die meisten Menschen niemals auch nur gehört haben oder hören werden.

3.

Nun wollen wir einmal zusehen, wie diese allgemeinen Feststellungen sich bewähren, wenn wir das Nervensystem unseres Spulwurmes genauer betrachten, wobei wir uns das Recht vorbehalten, auch weiterhin unsere Gedanken überall in der belebten Welt umherschweifen zu lassen. Denn der verehrte Leser hat wohl inzwischen bemerkt, daß der gute Spulwurm zu nicht viel mehr als einem halb scherzhaften Vorwand dient, über allerlei wichtige Dinge zu plaudern. So wird er es auch nicht übelnehmen, wenn wir ihm jetzt verraten, daß

er an der aufgeschnittenen, vor uns liegenden Ascaris zunächst gar nichts von einem Nervensystem sehen kann. Dazu bedürfte es vielmehr aller der Hilfsmittel der Mikroskopierkunst. Mit ihrer Hilfe könnten wir dann das folgende erfahren: An der Außenfläche des Körpers sind die Sinnesorgane zu erwarten, die die Reize der Außenwelt empfangen und zu den Zentralorganen leiten. Wir benötigen nur ein schwaches Vergrößerungsglas, um sie aufzufinden, nämlich kleine Erhebungen der Haut, die sich einmal am Vorderende des Körpers auf drei wulstigen Lippen, die den Mund umgeben, finden, während eine weitere Anzahl nahe dem Schwanzende des Tieres zu finden ist (Abb. 47). Ihre Lage deutet uns schon ihre Aufgabe an: die von Schmeck- und Tastorganen, also Organen, die durch chemische Stoffe oder durch Druck in Erregung versetzt werden. Diese einfache Feststellung besagt nun, wenn genauer betrachtet, gar merkwürdiges: nämlich, daß ein jeder Nervenendapparat in der Haut darauf eingestellt ist, durch genau festgelegte Arten von Reizen in Erregung versetzt zu werden; ein Geschmacksorgan wird also erregt, wenn chemische Reize es treffen, ein Tastorgan, wenn es gedrückt wird. Das heißt nun nicht etwa, daß andere Arten von Reizen ganz einflußlos auf ein solches Organ sind. In Wirklichkeit haben zwar alle Reize eine gewisse Wirkung, aber der besondere, auf den das Sinnesorgan eingestellt ist, eine soviel größere, daß es schon bei leichtester Reizung anspricht. Würden wir nun diese

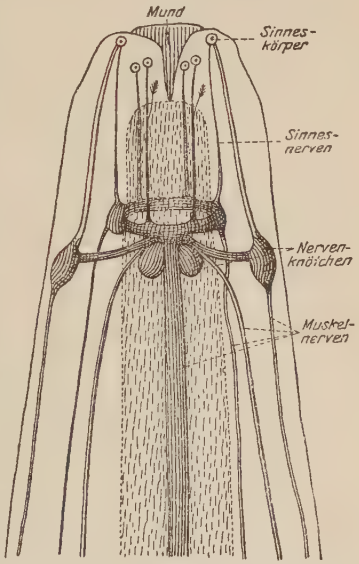


Abb. 47. Vorderende der Ascaris mit den Hauptteilen des Nervensystems.

Sinnesapparate in geeigneten mikroskopischen Präparaten untersuchen, so fänden wir einen ziemlich einfachen Bau. Ein Nervenfädchen, das aus einer in oder unter der Haut liegenden Sinneszelle kommt, endigt fein zugespitzt oder auch mit einer Anschwellung in der Körperoberfläche. Wenn wir es aber so ganz im allgemeinen fassen, so gleichen sich darin alle Sinnesorgane, die es im Tierreich gibt. Das klingt wohl auf den ersten Blick sehr erstaunlich, denn es scheint doch zunächst auf die bekanntesten Sinnesorgane, Auge und Ohr, gar nicht zu passen. Scheinbar, aber auch nur scheinbar. Auch sie machen keine Ausnahme, wie uns leicht klar werden wird, wenn wir uns wieder eines kleinen Vergleichs bedienen.

Merkwürdig, daß Vergleiche stets Erinnerungen an glückliche Stunden wachrufen. Diesmal sehe ich mich mit fröhlichen Genossen auf einem der in ein Meer von Schönheit und Sonne getauchten Hügel der Halbinsel von Sorrent nahe einem altberühmten Kloster. Um die Ecke der gewundenen Straße ertönt die eigenartige Musik sanfter Flötentöne, und bald steht vor uns eine Schar malerisch zerlumpter Bengels, die sich aus geklopfter Kastanienrinde (unsere Jungen nehmen die weniger gute Weidenrinde) prachtvolle Hirtenflöten gefertigt haben. Für ein paar Soldi erwerben wir sie und ziehen den Rest des Tages flötend durch Orangen- und Zitronenhaine, überzeugt, es ebensogut zu können wie Apoll oder Pan. Ein anderes Bild. Vor dem riesigen, von wildblickenden holzgeschnitzten Wächtern flankierten Tor des Buddhatempels steht ein Bettelmönch im weißen Lumpengewand mit seltsamem Gepäck beladen. Er bläst auf einer Flöte, die aus einem Dutzend Bambusröhrchen zusammengebunden ist, seltsame Weisen. Ein drittes Bild. Auf dem Hofe drunten dreht ein Leiermann seinen Orgelkasten und die Pfeifen quieken und jammern eine Melodie aus einer italienischen Oper. Nun ein letztes Bild. Im farbigen Dämmerlicht eines gotischen Doms lauschen wir den gewaltigen Klängen der Orgel, deren Pfeifen durch den leisen Fingerdruck des Künstlers gezwungen werden, die überirdische Schönheit einer Bachschen Fuge auszuströmen.

Und nun wollen wir einmal über all diese Bilder nachdenken und sehen, was all dieser verschiedenartigen Musik gemeinsam war. Da sehen wir, daß es stets ein Pfeifenrohr war, in dem die eingeblasene Luft einen Ton hervorbrachte, nicht anderes bei der kunstvoll gebauten Orgel, als in der Hirtenflöte des Knaben. Aber aus der Vereinigung zahlreicher Pfeifen zu einem Instrument und der Verbindung der Pfeifen mit allerlei Hilfseinrichtungen, wie der Walze und dem Blasebalg der Drehorgel, oder der verwickelten elektrischen Maschinerie der neuen Kirchenorgel, wurde auf der einfachen Grundlage einer angeblasenen Röhre das vollendete Wunderwerk der großen Orgel entwickelt.

Ganz entsprechend geht es nun mit den Sinnesorganen. Die Sinneszelle mit ihrem empfindlichen Fortsatz ist der Hirtenflöte vergleichbar. Aus ihr wird ein leistungsfähiges Sinnesorgan, indem viele Sinneszellen zusammentreten. Seine weitere Vervollkommnung und schließlich höchste Vollendung wird aber erreicht, indem Hilfseinrichtungen hinzutreten, die die Aufgabe haben, den Reiz in geeigneter Weise auf die Sinneszelle zu übertragen. Also auch im besten Auge und im feinsten Ohr ist der Hauptbestandteil — die Orgelpfeife — die Sinneszelle mit ihrem reizempfindlichen Fortsatz. Alles übrige ist, wie bei der Orgel, Maschinerie. Wie diese aber gebaut ist und mit den reizempfindlichen Sinneszellen zusammenarbeitet, ist zu reizvoll, als daß wir uns nicht ein wenig dabei aufhalten möchten.

4.

Wie oft sprechen wir von unseren fünf Sinnen oder ermahnen einen anderen, sie zusammenzunehmen. Tatsächlich sind die meisten Menschen davon überzeugt, daß es nur die bekannten fünf Sinne, Geruch, Geschmack, Gefühl, Gehör, Gesicht sind, die unsere Verbindung mit der Außenwelt herstellen. Wir wollen nicht mit ihnen rechten, denn wir können tatsächlich gar nicht entscheiden, wieviel Sinne es überhaupt gibt. Mag es doch im Tierreich Sinne geben, von deren Arbeit wir uns überhaupt keine Vorstellung bilden können.

Angenommen, es gäbe irgendwo ein Sinnesorgan, das die Lage der Erde im Weltraum empfände, wie sollten wir es entdecken? So können wir uns schon bei den bekannten fünf Sinnen bescheiden, besonders, wenn wir sie nicht gar zu wörtlich nehmen. Da ist der Geruch und Geschmack, also die Fähigkeit von Sinneszellen, durch chemische Stoffe besonders gereizt zu werden; das Gefühl oder der Tastsinn, durch den Druckreize wahrgenommen werden; das Gehör, das auf Sinneszellen beruht, die für Schallschwingungen besonders empfindlich sind, und das Gesicht, der Erfolg lichtempfindlicher Sinneszellen. Da gibt es aber auch Sinnesorgane, die uns über die Lage des Körpers im Raum unterrichten, sogenannte Gleichgewichtsorgane; und auch die Annahme eines Schmerzsinnes und eines Muskelsinnes, der über die Muskelbewegungen benachrichtigt, läßt sich rechtfertigen. Wir werden uns auch gar nicht sehr wundern, daß man Gesicht und Gehör als höhere, die anderen als niedere Sinne bezeichnet; haben doch die ersteren oft ganz vollendete Apparate zur Bedienung der Sinneszellen aufgebaut.

Die niederen Sinne arbeiten noch mit recht einfachen Organen, die nicht viel anders gebaut sind als die, die wir am Spulwurm kennenlernten, nämlich Sinneszellen mit einem oder mehreren in der Haut endigenden Fortsätzen. Das erscheint vielleicht dem einen oder anderen befremdlich, der gehört hat, daß als Tastorgane der Insekten deren Fühlhörner dienen, oder daran denkt, daß unser Geruchsorgan die Nase ist. Diese übliche Ausdrucksweise ist aber irreführend; die genannten Teile sind nicht selbst die Sinnesorgane, sondern deren Träger. Die Fühlhörner der Insekten sind Körperanhänge, die selbst erst die winzigen Sinnesorgane tragen (Abb. 48); die Nase der Wirbeltiere ist ursprünglich nur eine Grube der Haut, später ein Luftkanal, an dem dann an bestimmten Stellen die Riechzellen stehen. Diese einfachen niederen Sinnesorgane vermitteln nun aber schon recht ansehnliche Leistungen. Gar vielen Tierarten ermöglichen sie allein die Nahrungssuche wie das Fortpflanzungsgeschäft und geben Nachricht von dem, was in der Außenwelt vor sich geht. Ein jedes Kind hat schon einen einfachen Versuch über das

Arbeiten des Tastsinnes ausgeführt. Es berührt die Fühlhörner der Schnecke und alsbald ziehen diese sich zurück, vielleicht verschwindet sogar die ganze Schnecke im Haus. Da hatte das Kind die Tastzellen des Fühlers durch den Druck seines Fingers gereizt, die empfindlichen Zellen hatten sogleich zum Gehirn telegraphiert: Achtung, Gefahr! und dieses hatte den Muskeln den Rückzugsbefehl erteilt. Durch ähnliche Versuche ließen sich leicht bei den verschiedensten Tierarten an allen möglichen Körperstellen Tastsinneszellen feststellen, die je nach Gruppierung und Zahl bald mehr, bald weniger fein arbeiten; etwa so wie die wenigen Tastzellen unseres Rückens uns nicht viel Tastempfindung vermitteln können, während die zahlreichen Sinneszellen in den Fingerspitzen erlauben, mit den Fingern zu lesen. Gar manche Lebewesen beurteilen nahezu ausschließlich die sie umgebende Außenwelt durch solches Abtasten und bei ihnen ist häufig der Tastsinn zu einer uns kaum begreiflichen Feinheit entwickelt, so daß er über Form und Wesen umliegender Gegenstände Nachricht zu geben vermag, ohne daß eine direkte Berührung stattfindet. Bei Wassertieren kann man sich derartiges noch einigermaßen vorstellen; etwa wie die am vielgestaltigen Körper einer Krabbe abprallenden Wasserteilchen, wenn zurückgeworfen auf die druckempfindliche Haut eines Tintenfisches, hier ein Druckbild, ein Tastbild der Form der Krabbe erzeugen. Viel

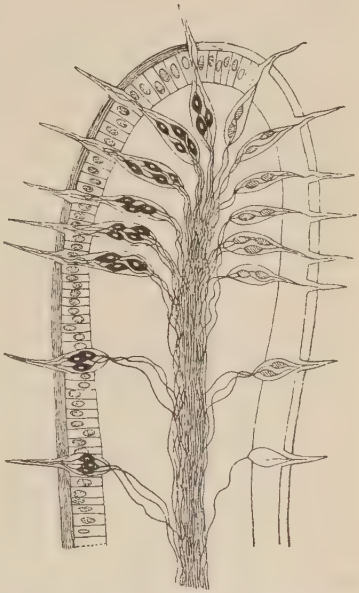


Abb. 48. Ende des Schmecktasters eines Insektes mit den reizempfindlichen Haaren und den zugehörigen Nervenzellen (schwarz) und Nervenfäden.

schwerer ist es, sich ein solches Tasten auf Entfernung in der Luft vorzustellen. Aber auch das kommt vor, wie ein uralter Versuch lehrt. Eine ihrer Augen beraubte Fledermaus wurde in ein Zimmer gebracht, in dem kreuz und quer Wäscheleinen ausgespannt waren, und sie flatterte darin umher, ohne einen der Stricke zu berühren; die von diesen abprallenden Luftwellen wurden von den Hunderttausenden von Tastzellen des Flügels empfunden und verrieten die Gegenwart der Leinen.

Das Kind, wie auch das erwachsene Naturkind, pflegt unbekannte Gegenstände zu erforschen, indem es sie betastet, daran riecht und schmeckt. So ist es auch im Tierreich öfters wahrzunehmen, daß Tastsinn und Geruchssinn gemeinsam oder sich gegenseitig ergänzend zur Prüfung der Gegenstände der Außenwelt verwandt werden und daher auch oft an den gleichen Körperstellen, etwa den Fühlhörnern, ihren Sitz haben. Welche außerordentlichen Fähigkeiten die Riechzellen oft in solchen Fällen entwickeln, ist wohlbekannt. Der Polizeihund verfolgt stundenlang eine Spur nach kurzer Witterung an einem Tuchfetzen oder ähnlichem. Ein Schmetterlingsweibchen, das aus seinen Duftorganen einen gelegentlich auch unseren stumpfen Riechzellen wahrnehmbaren Geruch aussendet, lockt damit die Männchen von Meilen weit im Umkreis heran. Ein verfaulendes Aas ist in kürzester Zeit von Aasinsekten bedeckt, die der Geruch von allen Seiten herbeilockte, und das Verzehren eines Honigbrotes wird in einem Wespenjahr zu einem zweifelhaften Vergnügen. Bei manchen Tiergruppen scheint sogar dieser Sinn so fein entwickelt zu sein, daß sie sich ebenso mit Geruchsbildern durch die Welt schlagen wie wir durch das Auge uns in unserer Umgebung zurechtfinden. In seiner höchsten Vollendung ist dieser Sinn vielleicht bei den Ameisen entwickelt, deren Leistungen ja von alters her Laien und Naturforscher bezaubert haben. Mit ihren Fühlhörnern, auf denen die Geruchsorgane stehen, betasten sie die Gegenstände und erkennen sichtlich ihre Beschaffenheit am Geruch und machen sich ein Geruchsbild von ihnen: wir können etwa bildlich gesprochen sagen, daß dies oder jenes Ding für sie rund oder viereckig, lang oder kurz riecht. Auch ihren oft so verwickelten Weg

von und zum Nest finden sie mit Hilfe hinterlassener Geruchsspuren, denen sie genau zu folgen vermögen. Ja, sie riechen sogar vielleicht, ob die Spur vom Nest weg oder zum Nest hinführt, wie durch geschickt angestellte Versuche wahrscheinlich gemacht werden kann. Doch genug davon; denn es besteht die Gefahr, kein Ende zu finden, wenn man anfängt vom Leben und Treiben der Ameisen zu erzählen.

Wir bemerkten schon früher, daß Schmecken und Riechen nicht sehr voneinander verschieden sind. In dem letzteren Fall wirkt der chemische Reiz eines Stoffes auf eine gewisse Entfernung, im ersteren wird er nur von Sinneszellen innerhalb der nahrungsaufnehmenden Organe, also Mund, Schlund, Zunge wahrgenommen. In manchen Sprachen und Dialekten, z. B. im Oberbayrischen, wird denn auch das Wort Schmecken für beides benützt. Begreiflicherweise ist dieser Geschmackssinn im Tiereich überall gut entwickelt; wie wählerisch sind doch die meisten Tiere mit ihrer Nahrung. Ein jeder Schmetterlingszüchter weiß etwa, daß viele Raupenarten lieber verhungern, als eine andere als die gewöhnte Futterpflanze anzunehmen. Doch damit genug von den niederen Sinnen, den kunstlosen Hirtenflöten, auf denen sich aber doch manch tüchtiges Stücklein blasen läßt.

5.

An den in beschaulicher Ruhe thronenden Gottheiten des lamaistischen Kultus sehen wir oft als Zeichen ihrer höheren Weisheit ein drittes Auge mitten auf der Stirn und auch das Abendland stellt die Allwissenheit und Allgegenwart des Schöpfers durch das Auge Gottes dar. Das Auge erscheint uns als der Inbegriff eines Sinnesorgans, das die vollkommenste Einsicht in die Umwelt vermittelt. Dies trifft in der Tat für einen großen Teil des Tierreichs zu. Im Auge werden die Strahlen des Sonnenlichts, die von den Gegenständen der Umwelt zurückgestrahlt werden, aufgefangen und geben von deren Beschaffenheit direkte Kunde. Nicht überall ist diese Nachricht aber gleich vollkommen, obwohl wir sagen können, daß im großen ganzen die lichtempfind-

lichen Sinneszellen selbst gleicher Art sind, nämlich Nervenzellen mit Nervenendfäden, die durch einen Lichtreiz in Erregung versetzt werden. Aber hier bei den Sehorganen hat sich oft eine höchst verwickelte Maschinerie den empfindlichen Zellen zugesellt, die die Reizursachen in bestimmter Weise verteilt, verstärkt, abschwächt und so eine höchst mannigfaltige Wirkung ermöglicht. Es gibt allerdings auch Lichtsinnesorgane allereinfachster Art, etwa bei einem Regenwurm, die noch weit von dem entfernt sind, was wir als Augen bezeichnen: Sinneszellen in der Haut, die ebenso durch Licht in Erregung gesetzt werden wie Tastzellen durch Druck. Wir könnten das, um wieder einmal einen Vergleich zu benutzen, etwa photographischen Platten vergleichen, die einfach dem Licht ausgesetzt werden, ohne daß eine Kamera dafür sorgt, daß ein Bild entworfen wird. In der Mehrzahl der Fälle aber schließen sich zahlreiche lichtempfindliche Zellen zu einer lichtempfindlichen Fläche zusammen, die man dann eine Netzhaut nennt. Da die Gesamtheit des Lichteindrucks, der von hier nach den nervösen Zentralorganen geleitet wird, sich aus der Summe der Erregungen all der einzelnen Sinneszellen der Netzhaut zusammensetzt, so kann ein Lichteindruck, der mehr besagt als hell und dunkel, der ein Bild der lichtaussendenden Gegenstände bedeutet, nur erhalten werden, wenn die verschiedenen Zellen — das entspricht im Vergleich den verschiedenen Teilen einer photographischen Platte — von entsprechend verschiedenen Lichtreizen getroffen werden. Dies ist es, was die verschiedenen Typen von Augen, die sich im Tierreich ausgebildet haben, ermöglichen. Sie können mit verschiedenartig gebauten photographischen Apparaten verglichen werden, in denen das Bild auf der Platte — die Netzhaut — von einer bildentwerfenden Kamera — das übrige Auge — erzeugt wird. So hängt auch die Art der Leistungen von der Tüchtigkeit beider Teile ab.

Wie steht es zunächst mit der lichtempfindlichen Platte, der Netzhaut? Ein jeder Photograph weiß, daß man mit der gleichen Kamera sehr verschiedene Erfolge erzielt, je nachdem man eine empfindliche oder langsame oder für beson-

dere Farben empfindliche Platte einschiebt. In gleicher Weise dürften sich auch die Netzhäute verschiedener Tierformen in ihrer Leistungsfähigkeit sehr unterscheiden. Einige empfinden auch sehr geringe Lichtmengen noch deutlich, auf andere übt schwaches Licht gar keinen Reiz mehr aus. Vielleicht habt Ihr schon einmal von dem merkwürdigen Zustand der Nachtblindheit gehört, der sich in manchen Familien in bestimmter Weise forterbt. Solche Menschen sind in der Dämmerung völlig blind, da schwaches Licht ihre Netzhaut nicht reizt. Zum Vergleich mag man an eine jener unempfindlichen Plattensorten denken, die man ruhig bei schwachem Licht betrachten kann, während sehr empfindliche Sorten selbst vom roten Licht der Dunkelkammer angegriffen werden.

6.

Nicht nur dem Licht im allgemeinen gegenüber verhalten sich die Netzhäute ganz verschieden, sondern auch auf die Farben sprechen sie in ganz verschiedener Weise an. Ein jeder hat wohl in seiner Bekanntschaft einen teilweise Farbenblinden, meist einen Rot-Grün-Blinden. Es gibt aber auch vollständig Farbenblinde, die überhaupt keine Farben sehen, nur verschiedene Helligkeiten, alle Grau in Grau. Es ist verständlich, daß zahlreiche Forscher sich da dafür interessierten, festzustellen, wie sich das Auge der Tiere in bezug auf das Sehen von Farben verhält. Das kann nun nicht so einfach festgestellt werden wie bei einem Menschen, der in den Eisenbahndienst eintreten will. Denn die Tiere geben uns ja leider keine direkten Antworten und so muß man ihnen auf einem Umweg beikommen. Solcher Wege gibt es gar viele, darunter sogar sehr verwickelte. Der einfachste ist der: Es ist möglich, Tiere bei ihrer Fütterung auf bestimmte Farben zu dressieren und dann festzustellen, ob sie die betreffende Farbe von einem Grau gleicher Helligkeit — das für den Farbenblinden von jener Farbe ununterscheidbar wäre — unterscheiden können. Wenn man etwa einen Fisch auf die Fütterung mit roten Würmern dressiert hat und dann außen ans Glas rote wurmförmige Fäden klebt, so schießt

er auf sie los. Sind nun diese Fäden auf einem grauen Grund aufgeklebt, dem der gleiche Helligkeitswert wie rot zukommt, so könnte ein Farbenblinder sie nicht sehen. Das Verhalten des Fisches ihnen gegenüber gäbe also Auskunft darüber, ob er rot sieht oder rotblind ist. Derartige Versuche zeigten nun, daß Amphibien, also Frösche und Salamander, Reptilien, also Eidechsen, Schildkröten, Schlangen, schließlich Vögel und Säugetiere die Farben im großen ganzen ebenso sehen wie wir. Für Fische aber glaubte man nachweisen zu können, daß sie farbenblind sind; es zeigte sich aber dann, daß manche Fische auch Farben sehen.

Von besonderem Interesse aber erschien das Verhalten der Insekten, bei denen besonders die Bienen untersucht wurden. Wer nur einmal mit offenen Augen durch die Natur gegangen ist, weiß warum. Er sah eine Biene oder Hummel von Blume zu Blume fliegen, aus ihrem Kelch den Honig zu schlecken. Er erinnerte sich dabei wohl dann, daß er in der Schule lernte, daß der Pollen vieler Blüten durch Insekten auf die Narbe übertragen und so die Bestäubung ausgeführt wird und daß der Honig im Kelch dazu bestimmt ist, diese Insekten anzulocken. Dabei mag ihm dann auch der den Naturforschern seit lange bekannte Gedanke gekommen sein, daß die auffallenden bunten Farben der Blumen die Aufgabe haben, diesen Insekten den Weg zu weisen. Die Wahrheit dieser Annahme zu prüfen, mag er nun jahraus, jahrein alle ihm zugänglichen Blüten beobachten und da wird er finden, daß fast alle weißen, bunten oder auffallenden Blüten von Bienen und Hummeln besucht und bestäubt werden, während unscheinbare oder unauffällig gefärbte Blumen auf den Wind und andere Überträger des Blütenstaubs angewiesen sind. Damit wird er sich dann gern zufrieden geben und uns glauben, daß farbige Zeichen in der Blüte, die in die Richtung der Honigquelle deuten, Saftmale sind, die den Insekten den Weg weisen, und es als selbstverständlich hinnehmen, daß die Bienen die Wegweiser auch sehen können. In der Wissenschaft aber gilt nichts als selbstverständlich und früher oder später kommt immer jemand, der auch das scheinbar Selbstverständlichste bezweifelt.

So kamen denn auch hier die Zweifler und sagten: Die Biene hat einen vorzüglichen Geruch, mit dem sie den Honig wittert; das sollte doch genügen, sie zur süßen Quelle zu führen. Prüfen wir das nun einmal, indem wir den Bienen geruchlose Papierblumen darbieten oder gar Spiegelbilder von Blumen. Da flogen die Bienen nicht danach; wohl aber flogen sie auch zu Blumen, die ihrer farbigen Blütenblätter beraubt waren. Das Gesicht schien somit gar keine Rolle zu spielen. Nun kam aber die Gegenseite zu Wort und sagte: Hier ist etwas sehr Wichtiges unberücksichtigt geblieben, das außerordentliche Ortsgedächtnis, das die Biene immer wieder zur gleichen Blume zurückführt, auch wenn ihre Blütenblätter inzwischen entfernt wurden. Man sollte deshalb die Versuche so anstellen, daß das Ortsgedächtnis keine Rolle spielen kann. Geschah das, dann flogen aber die Bienen auch an die Papierblumen und mieden die entblätterten Kelche: sie sehen also die Blumen und werden durch sie angelockt.

Nun kam aber ein anderer Zweifler und sagte: Wenn die auffallenden Blumenfarben die Insekten anziehen sollen, dann müssen sie ihnen ebenso wie uns erscheinen. Ist es aber nicht auch möglich, daß sie für ihr Auge ganz anders aussehen? Wir müssen also zuerst einmal feststellen, wie die Farben überhaupt auf das Bienenauge wirken, verglichen mit dem Menschenauge. Da ist es nun eine Tatsache, daß von den Farben des Regenbogens gelb dem normalen Menschenauge am hellsten erscheint. Dem Farbenblinden aber, dem alle Farben ja nur Schattierungen von Grau sind, erscheint grün bis hellgrün am hellsten. Man brachte nun Bienen, von denen man weiß, daß sie, wenn eingeschlossen, nach der hellsten Stelle des Raumes fliegen, in einen künstlichen Regenbogen — der Physiker vermag mit einem einfachen Apparat jederzeit den Regenbogen vom Himmel zu stehlen — und siehe da, sie flogen zum gelbgrün hin, sahen also wohl die gleiche Stelle als die hellste an wie der völlig Farbenblinde. Die Bienen sind also wohl auch farbenblind, und wenn andere Versuche gezeigt hatten, daß sie bestimmte Farben unterscheiden können, so ist es nur ihre Helligkeit, die sie wahrnehmen, genau wie dem völlig farbenblinden

Menschen die Farben als helleres und dunkleres Grau erscheinen.

Nun kam wieder die Gegenseite und sagte: Gewiß zeigen diese Versuche, daß den Bienen gelbgrün am hellsten erscheint. Aber warum müssen sie sich denn genau so verhalten in bezug auf das Farbensehen wie ein Mensch? Können sie nicht trotzdem einen Farbensinn haben? Also machen wir neue Versuche. Wir wissen bereits, daß man Tiere auf verschiedene Farben dressieren kann, wenn man sie eine Zeitlang von einem bestimmt gefärbten Untergrund füttert; dann erwarten sie nämlich, auf der gleichen Farbe ihr Futter zu finden. Bienen können also etwa auf Blau dressiert werden, wenn man auf ein blaues Papier ein Schälchen mit Zuckerwasser stellt und sie daran ein oder zwei Tage nippen läßt. Dies wurde getan und dann auf einem Brett eine Reihe gleich großer Papiervierecke befestigt, die in allen Stufen des Grau vom Weiß bis Schwarz, gefärbt waren. Dazwischen aber befand sich auch ein blaues Viereck. Unter den grauen Papieren war nun auch eins, das die Helligkeit des blauen besaß, das also einem völlig Farbenblinden genau wie das blaue erscheinen würde. Nun wurden die Schälchen auf den grauen Papieren mit Zuckerwasser gefüllt, das auf dem blauen Grund blieb jedoch leer. Trotzdem aber flogen die auf blau dressierten Bienen alle auf blau (Abb. 49)! Sie konnten also doch wohl die Farbe als Farbe sehen, sonst hätten einige sie mit dem gleich hellen Grau verwechseln müssen. Solche Versuche wurden dann mit allen Farben durchprobiert, auch mehreren Farben gleichzeitig, um zu sehen, wie verschiedene Farben unterschieden werden. Dabei zeigte sich, daß wirklich alle Farben gesehen werden mit Ausnahme eines grellen Rot und eines bestimmten Grün: diese wurden mit Grau und Schwarz verwechselt. Also verhielten sich die Bienen wie ein rot-grünblinder Mensch, der ja die gleichen Farben nicht sehen kann. Und merkwürdig genug: dem Pflanzenkenner war es schon lange bekannt, daß die hauptsächlich in heißen Ländern heimischen grellroten Blumen nie von Insekten bestäubt werden, sondern von Vögeln und daß, wenn in einer bestimmten Pflanzenfamilie

einige wenige Arten als Ausnahme in derartig roten Farben blühen, es stets Vogelblumen sind. So dürfen wir denn glauben, daß nach all diesen Umwegen — und ich versichere Euch, daß ich noch manchen Abschneideweg geführt habe — der natürliche Menschenverstand recht behalten hat: die Bienen sehen die Blumenfarben als Farben.

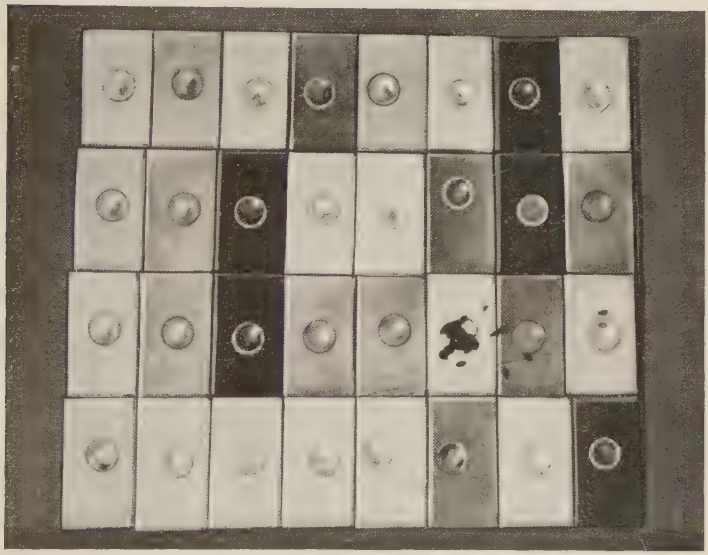


Abb. 49. Bienendressurversuch mit verschieden getönten grauen Papieren. Auf jedem Papier befindet sich ein Schälchen. Sämtliche Bienen befinden sich auf dem 6. Papier der 3. Reihe, welches blau ist. In der Photographie treten die wirklichen Farben und Tonwerte nicht hervor.

7.

So wissen wir nun doch einiges von den Fähigkeiten der Platte in unserem photographischen Apparat und wenden uns nun voll Neugier der Kamera selbst zu. Könnten wir in einer Ausstellung all die verschiedenen Systeme von Photographieapparaten beisammen sehen, die menschliche Erfindungsgabe zusammenbaute, seit der eitlen Menschheit klar wurde, daß sie ihr geliebtes Konterfei viel besser im Lichtbild er-

blicken kann als im schönsten Kupferstich, so käme wohl eine erstaunliche Mannigfaltigkeit zusammen. Trotzdem wäre die Ausstellung geradezu einförmig, verglichen mit der Verschiedenheit des Baues der Augen im Tierreich. Denn alle jene Apparate sind doch schließlich nur Mannigfaltigkeiten einer einzelnen Grundform, nämlich einer dunklen Kammer, in deren Hintergrund ein Bild entworfen wird. Sehr, sehr viele Augen im Tierreich, sagen wir ruhig Kameraaugen, sind auf dem gleichen Grundsatz aufgebaut. Aber es gibt auch ganz andersartige Erfindungen, die auf verschiedener Grundlage arbeiten und doch sichtlich ihren Zweck auch erfüllen.

Bleiben wir aber zunächst einmal bei der Kamera. Ihre Aufgabe ist, wie jedermann weiß, im Hintergrund, da wo die lichtempfindliche Platte eingesetzt wird, ein Bild zu erzeugen. Das bedeutet, daß die von den Gegenständen, etwa einem Haus, zurückgeworfenen Lichtstrahlen zusammengefaßt und vereinigt weiter befördert, zusammengebrochen werden, so daß ein verkleinertes Bild des Hauses entsteht, das wir dann auf der Mattscheibe der Kamera sehen können. Das zu ermöglichen, sind drei Dinge notwendig. Einmal muß vorn im Apparat eine Einrichtung sein, die die Lichtstrahlen in der genannten Weise in die Kamera hineinbefördert; sodann muß die Kamera die richtige Tiefe haben, damit das verkleinerte Bild auch genau an der Stelle aufgefangen werden kann, an der es entsteht und schließlich muß es im Innern der Kamera dunkel sein, damit kein fremdes Licht das Bild stört. So zeigen uns denn in der Tat die Kameraaugen auch die Gestalt einer innen dunkeln, oft kugeligen Blase, in der sich vorn die Einrichtung findet, die das Bildchen entwirft und hinten in richtiger Entfernung die Platte, die das Bild aufnimmt, also die Netzhaut. Ebenso wie man im Photographieapparat das Bild hinten auf der Mattscheibe sehen kann, so kann man es auch im Augenhintergrund sehen (Abb. 50). Gerade als ob es gestern gewesen wäre, steht noch vor mir die Naturgeschichtsstunde in unserem alten Gymnasium, in der unser prächtiger Lehrer behutsam ein Ochsenauge auf eine Schüssel legte, es gegen

das Fenster richtete und dann eine kleine Öffnung an der richtigen Stelle hineinschnitt, durch die wir dann das Bildchen des Fensters im Augenhintergrund sehen konnten.

Jetzt müssen wir erfahren, was dieses Bildchen entwirft. Im photographischen Apparat ist es natürlich die Linse. Doch halt! Nicht immer! Als Knaben benutzten wir eine selbstgefertigte Kamera, die auch ohne Linse ganz nette Bildchen ergab. An Stelle der Linse fand sich da nichts als ein feines Loch, es war eine Lochkamera. Entsprechend gibt es denn auch bei gewissen Tieren Augen, die nicht anders gebaut sind: ein Augenbecher und vorn ein Loch, durch das das Licht einfällt (Abb. 51). Das dürfte aber wohl eine ebenso unvollkommene Einrichtung sein wie die Lochkamera des Knaben. Wer einen guten Apparat wünscht, verlangt denn nicht nur einen mit einer Linse, sondern sogar mit einer guten Linse, an die allerlei Ansprüche gestellt werden: sie muß lichtstark sein, darf das Bild nicht verzerren, muß sich bestimmten Lichtsorten gegenüber in bestimmter Weise verhalten. Sie besteht bekanntlich aus durchsichtigem geschliffenem Glas, dessen Zusammensetzung und Wölbung genau berechnet ist. Sicherlich ist es eine der eigenartigsten Leistungen der Natur, daß auch im Auge sich eine derartige Linse befindet, die bei niederen Tieren meist aus einer durchsichtigen Abscheidung der Haut, bei höheren aus zahllosen, völlig durchsichtigen Zellen besteht (Abb. 52).

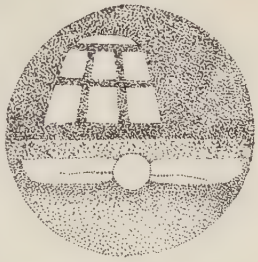


Abb. 50. Das Fensterbildchen im Augenhintergrund.

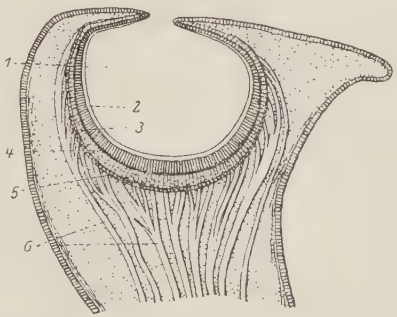


Abb. 51. Ein Schnitt durch das einfache linsenlose Loch-Kamera-Auge des Tintenfisches Nautilus. *1* Augenkammer. *2*, *3*, *4* Netzhaut. *6* Sehnerv.

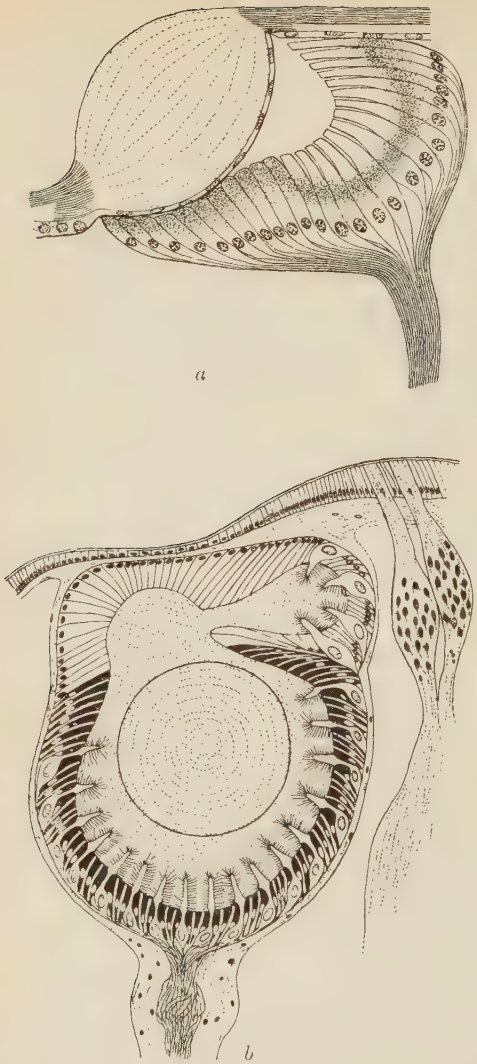
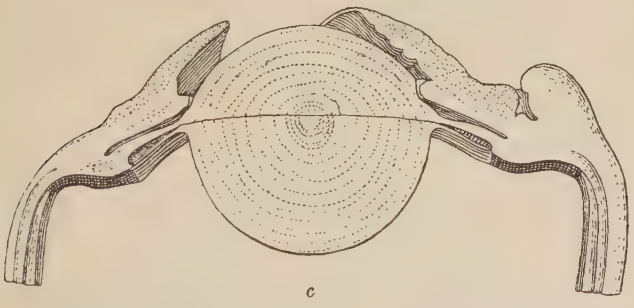


Abb. 52. Verschiedene Arten von Augenlinsen. *a* Schnitt durch das Stirnauge eines Insektes mit der Chitinlinse. *b* Schnitt durch das Auge im Fühler einer Schnecke mit kugeliger Linse in der Augenhöhle.

Auch diese Linsen sind verschieden leistungsfähig, es gibt gute und schlechte. Eines besonderen Beweises bedarf es wohl dann nicht mehr, daß die Linse im Auge nach den gleichen Gesetzen arbeitet wie die Glaslinse. Wer es aber nicht glaubt, braucht sich nur ein wenig in seinem Bekanntenkreise umzuschauen, um einen lebenden Beweis zu finden, einen am Star Erblindeten. Star aber bedeutet nichts anderes, als daß die kranke Linse sich trübt und schließlich undurchsichtig wird: dann ist das Auge zwar noch fähig, ein Bild aufzunehmen, aber die Linse kann keines mehr entwerfen. Da schneidet der Arzt die schlechte Linse heraus und ersetzt sie durch eine Starbrille, also eine vor das Auge gesetzte Glaslinse und alles ist wieder gut.

Wer jemals eine Photographie aufgenommen hat, weiß, daß man das Bild zuerst scharf auf der Mattscheibe einstellen muß, indem man letztere mit Hilfe des ausziehbaren Balges von der Linse entfernt oder ihr nähert; oder bei anders eingerichteten Apparaten die Linse mit ihrer Fassung hin- und herschiebt. Das hat darin seinen Grund, daß die Entfernung, in der die Linse ein scharfes Bild zeichnet, von dem Abstand des aufzunehmenden Gegenstandes von der Linse abhängig ist. Ein Kameraauge, in dem eine solche Einstellung nicht möglich wäre, könnte also ebensowenig wie ein unausziehbarer Apparat ein scharfes Bild auf verschieden-



c

Abb. 52. *c* Schnitt durch die Vorderwand eines Tintenfischauges mit der aus zwei Halbkugeln zusammengesetzten Linse.

artige Entfernungen liefern. Solcher unvollkommen entwickelter Augen gibt es gar viele. Aber in allen höher entwickelten Sehorganen ist für die Möglichkeit gesorgt, auf verschiedene Entfernungen scharf zu arbeiten. Im einzelnen sind die dafür sorgenden Einrichtungen verschiedenartig. Beim Fischauge z. B. ist es ähnlich wie bei Kameras, deren Linse auf einem beweglichen Brett montiert ist: die Linse kann durch besondere Muskelchen verschoben, dem Augenhintergrund genähert oder von ihm entfernt werden. In anderen Augen aber, so in unserem eigenen, ist ein verwickelterer Weg eingeschlagen, den man mit der Glaslinse nicht nachzuahmen vermöchte. Es ist eine bekannte Tatsache, daß Linsen, deren Flächen verschiedenartig gewölbt sind, scharfe Bilder von Gegenständen nach dem gleichen Punkt hin wer-

fen, falls die Gegenstände entsprechend verschieden weit entfernt sind. Also das in bestimmtem Abstand, sagen wir, auf der Mattscheibe aufgefangene Bild ist bei Verwendung einer flacher geschliffenen Linse scharf, wenn der Gegenstand weiter entfernt, bei einer gewölbten Linse, wenn er sich nahe befindet. Man könnte also für die scharfe Einstellung eines photographischen Apparates auch den unpraktischen Weg einschlagen, für jede Entfernung des Gegenstandes eine anders gewölbte Linse einzusetzen. Wie gesagt, das wäre recht umständlich. Aber in unserem Auge geschieht es trotzdem. Das ist dadurch ermöglicht, daß die Augenlinse nicht starr ist wie Glas, sondern weich und formbar. So braucht sie nicht ausgewechselt zu werden, sondern kann selbst durch den Druck eines besonderen Linsenmuskels ihre Wölbung ändern, sich stärker wölben oder abflachen. Das findet dann jedesmal statt, wenn wir unsere Augen auf einen nahen oder fernen Gegenstand einstellen (Abb. 53). Wissen wir dies einmal, so fällt es uns auch nicht mehr schwer, uns vorzustellen, daß irgendwelche Fehler im Bau der Augenkamera und der Linseneinstellung durch ausgleichende Hilfslinsen, die Brillengläser, korrigiert werden können.

Der geschickte Photograph hat nun auf noch etwas anderes zu achten. Vor der Linse seiner Kamera findet sich eine Blende. Bevor er eine Aufnahme macht, überlegt er sich sehr genau, ob er die Blende weit offen läßt und somit ein großes Lichtstrahlenbündel zur Linse läßt oder ob er sie schließt und damit das Strahlenbündel einengt. Er weiß unter anderem, daß er bei sehr hellem Licht die Blende schließt und sie an einem düsteren Tag offen hält, um mit der gleichen Belichtungszeit ein gutes Bild zu erhalten. Auch diese Einrichtung findet sich im tierischen Auge und in recht verschiedener Konstruktion je nach der Entwicklungsstufe. Im richtigen Kameraauge aber ist die Einrichtung nahezu wie im photographischen Apparat. Vor der Linse findet sich eine undurchsichtige Scheibe, die Regenbogenhaut, mit einem Loch in der Mitte, der Pupille. Feine Muskeln in der Scheibe, die den Platz der Einstellhebel in der Kamera vertreten, können die Öffnung erweitern und verengen: die Pupille wird

groß oder klein (Abb. 54). Schaut euch die Augen einer Katze einmal bei Tag an und dann bei Nacht, wenn die Pupille weit geöffnet ist, oder stellt euch vor den Spiegel in einem nicht zu hellen Zimmer und nähert dann ein starkes Licht; sofort seht ihr die Blende in eurem Auge arbeiten.

So könnten wir noch so manchen lehrreichen Vergleich mit dem photographischen Apparat durchführen. Wir könn-

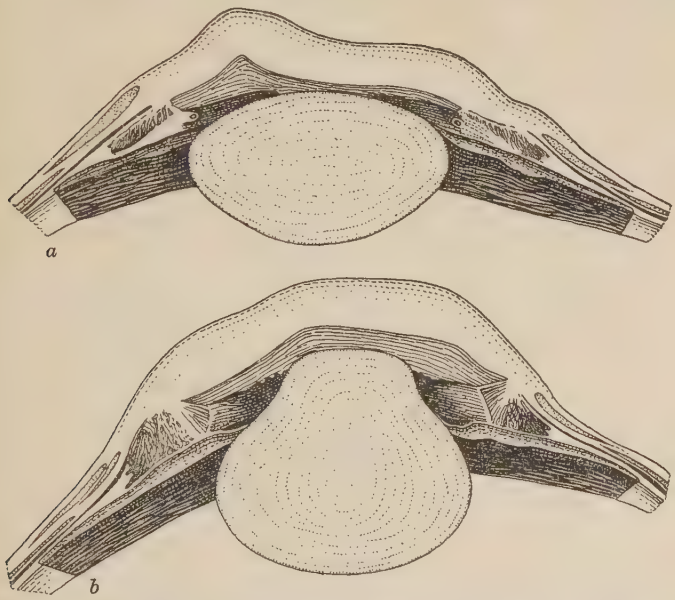


Abb. 53. Vorderwand des Kormoranauges. *a* in Ruhe. *b* Die Linse hat bei der Einstellung des Auges ihre Form verändert.

ten etwa erwähnen, daß er auf ein Stativ gesetzt wird, um bequem nach allen Seiten gerichtet werden zu können und zufügen, daß bei Tieren, deren Augen auf einem Stiel sitzen, wie bei vielen Krebsen (auch Tiefseefischen, Abb. 55), dies auch keine wesentlich verschiedene Bedeutung hat. Wir könnten darauf hinweisen, daß der Photograph nach der Aufnahme die Linse zum Schutz mit einer Lederkappe bedeckt; ebenso besitzen viele Tiere verschließbare Augenlider, die die gleiche Aufgabe erfüllen, ja vor ganz besonders guten Augen,

wie es die der Wirbeltiere sind, ist die Linse ständig durch eine vorgestellte, durchsichtige Schutzwand, die Hornhaut,

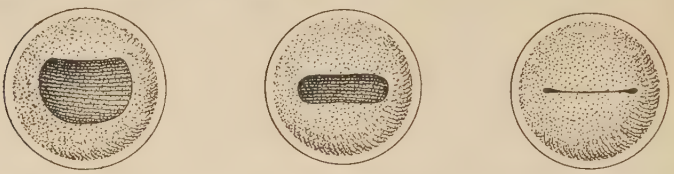


Abb. 54. Die Pupille eines Tintenfisches in drei Stadien ihrer Verengung.

geschützt. Wir könnten darauf hinweisen, daß manche Kamera durch Stahlteile gefestigt wird, und daß manche Augäpfel, etwa bei Fischen und Vögeln, durch Knorpel oder Knochenringe gestärkt werden. Aber wir wollen das nicht weitertreiben. Es gibt ja auch noch andere Leute, die gern Bücher schreiben, und da mag vielleicht einer ein ganzes Buch nur über die Wunder des Auges verfassen; sicher wird er noch vieles mehr zu berichten haben.

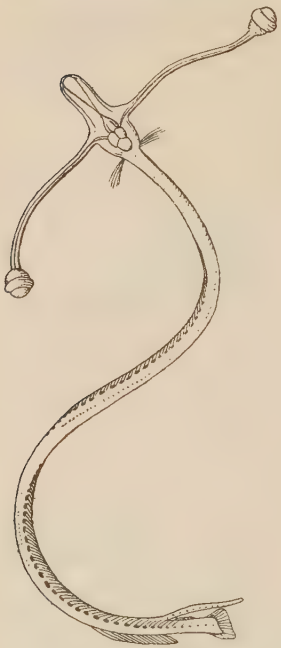


Abb. 55. Tiefseefisch mit langgestielten Augen.

Nur noch ein kurzes Wort über eine Augenart, von der fast ein jeder schon gehört hat, über das Facettenauge der Insekten (Abb. 56). Als Kind wurde mir einmal eines jener billigen Jahrmarktsmikroskope geschenkt, die trotz ihrer Unvollkommenheit dem Besitzer manche Freude bereiten können. Bei dem Instrument befand sich, was wohl nie fehlen dürfte, ein Präparat eines Fliegenauges. Unter dem Mikroskop erwies es sich zusammengesetzt aus zahllosen kleinen Sechsecken, eines dicht beim andern. In Wirklichkeit war dies nun

gar nicht das ganze Auge, sondern nur die harte äußere Haut, die es überzieht, die wir etwa der durchsichtigen Hornhaut vergleichen könnten, die unseren Augapfel nach vorn abschließt. Aber jedes einzelne der kleinen Sechsecke oder Facetten, die da zu Tausenden nebeneinanderliegen, ist eine einzelne Hornhaut. Das bedeutet also, daß hinter jeder ein einzelnes Auge mit allen seinen Teilen, Linse, Regenbogenhaut, Netzhaut, liegt. Was wir bei der Fliege oder dem Schmetterling oder dem Hummer ein Auge nennen, ist in Wirklichkeit eine Ansammlung von Tausenden von Einzel-

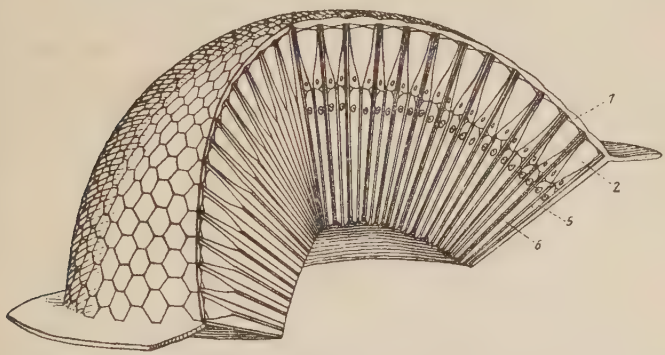


Abb. 56. Angeschnittenes Facettenauge eines Insekts. Einem jeden Sechseck der Oberfläche entspricht ein säulenförmiges Einzelauge. *1* Hornhautfacette. *2* Linse. *5*, *6* die Netzhautzellen.

augen. Jedes einzelne ist aber ganz anders gebaut als ein Kameraauge. Es gibt da keine dunkle Kammer, in deren Hintergrund ein Bild entworfen wird, sondern die Sinneszellen der Netzhaut sitzen direkt hinter der Linse. Deren besondere Form und Beschaffenheit bedingt es aber, daß sie nicht einen ganzen Gegenstand abbilden kann, sondern nur den Teil, der in gerader Richtung zur Längenausdehnung des Äugleins liegt. Dies trifft aber für jedes der vielen Einzelaugen zu. Betrachtet nun einmal die schwarzen Augen am Kopf einer Biene oder Mücke und ihr werdet alsbald bemerken, daß sie stark gewölbt sind. Demnach schaut jedes der Einzeläuglein nach einer etwas anderen Richtung. Wenn

daher ein Gegenstand ins Auge gefaßt wird, so bildet jedes Äuglein ein Stückchen von ihm ab, und aus all den Stückchen setzt sich das ganze Bild zusammen. Man könnte es etwa mit einer Panoramaaufnahme vergleichen, die aus vielen Einzelaufnahmen zusammengesetzt wird, die nach verschiedenen Himmelsrichtungen hin aufgenommen wurden. Man kann aber durchaus nicht behaupten, daß diese sonderbare Art von Auge nicht gut arbeite. Eine altbekannte Tatsache ist das außerordentliche Ortsgedächtnis der Biene und es läßt sich unschwer zeigen, daß sie sich durch die Augen das Bild der Gegend einprägt. Man kann Bienen etwa, ähnlich, wie wir es von der Farbe kennenlernten, auch auf bestimmte Formen und Muster wie auf bestimmte Stellungen und Bezeichnungen des Bienenstockes dressieren. Doch ich denke, ihr glaubt mir ohne weiteres, daß man das durch viele geschickt ausgeführte Versuche bewiesen hat. Denn wir haben ohnedies bereits zu lange über die Königin der Sinne, das Gesicht, geplaudert.

Sechster Abschnitt.

Volkstümliche Redewendungen geben oft den Dingen einen besonders treffenden Ausdruck. So spiegelt sich die Tatsache, daß wir mit der Außenwelt in erster Linie durch Vermittelung der höheren Sinnesorgane in Verbindung stehen, gut in der Redewendung wieder: „daß einem Hören und Sehen vergeht". Wollten wir das gleiche für eine Biene ausdrücken, so müßten wir sagen: „daß ihr Sehen und Riechen vergeht", und für den Spulwurm hieße es gar: „daß ihm Schmecken und Tasten vergeht". Vom Schmecken, Tasten, Riechen und Sehen haben wir nun schon allerlei erfahren und sind jetzt begierig, auch etwas über die Sinnesorgane zu lernen, die das Hören vermitteln.

Ein jeder weiß, was unter Hören verstanden wird, oder glaubt es wenigstens zu wissen. Wir lernten, daß der Reiz, der ein Tastsinnesorgan in Erregung setzt, ein Druck ist, bei einem Sehorgan aber ein Lichtstrahl. In entsprechender Weise sind die Hörsinneszellen auf Erregung durch Töne und Geräusche eingestellt. Was ist das nun, ein Ton? Darüber kann man sich schon klar werden, ohne sich mit der Wissenschaft der Physik abgegeben zu haben, die darüber sehr gelehrte Sachen zu sagen weiß. Wird eine Violinsaite angestrichen oder gezupft, so entsteht ein Ton. Betrachtet man dabei die Saite, so sieht man sie deutlich hin- und herschwingen. War es eine tiefe Saite, so erscheint das Schwingen ziemlich langsam, war es eine hohe, so sind die Schwingungen so rasch, daß sie kaum mehr gesehen werden können. Nun beobachten wir das Rad einer schnell sich drehenden Maschine und achten auf den summenden Ton; läuft die Maschine schneller, so wird der Ton höher, verlangsamen sich die Umdrehungen, so wird der Ton tiefer. Nun wollen wir auch noch auf die Fliege achten, die mit einem brummenden Ton um unseren Kopf summt und sehen, daß ihre Flügel schnell hin- und herschlagen. Nun kommt eine andere geflogen, die einen viel höheren Ton summt, und achten wir auf ihre Flügel, so erscheint ihre Bewegung so schnell, daß nur ein Wirbel sichtbar wird. Danach erscheint es bereits klar, daß schnelle Schwingungen mit der Erzeugung eines Tones zu tun haben, und daß der Ton um so höher erscheint, je schneller der tonerzeugende Gegenstand, die Saite, der Insektenflügel, schwingt.

Was gelangt nun von der Saite in unser Ohr und vermittelt den Eindruck eines Tones? Wer schon einmal in der Nähe einer abgefeuerten Kanone oder nur eines Trompeterchors stand, hat deutlich den Druck im Ohr gefühlt. Da nichts gedrückt haben kann als die Luft, so muß sie mit dem das Ohr treffenden Ton zu tun haben. Wenn wir nun bei einem Gewitter auf die Zeit achten, die zwischen Blitz und Donner verstreicht, so könnten wir vielleicht einmal feststellen, daß

der Blitz genau einen Kilometer weit entfernt einschlug, der Donner aber erst drei Sekunden nach dem Blitzstrahl gehört wurde. Der gleichzeitig mit dem Blitz erfolgende Donnerknall braucht also eine bestimmte Reisezeit, bis er unser Ohr erreicht. Nach all dem ist es wohl nicht schwer zu verstehen, daß Töne auf Schwingungen von Luftteilchen beruhen, die sich mit einer bestimmten Geschwindigkeit gleich Wellen auf dem See weiter verbreiten, und daß die Zahl der Schwingungen, die ein Luftteilchen in der Sekunde ausführt, für die Höhe des Tones verantwortlich ist. So beruht der tiefste Baßgeigenton auf 16 solcher Schwingungen per Sekunde, der höchste Flötenton auf etwa 4500. Diese Luftschwingungen, die Tonwellen, sind es, die die Sinneszellen des Gehörorganes in Erregung setzen. Wenn dann von ihnen aus die telegraphische Nachricht zum Gehirn gelangt, daß sie von 440 Schwingungen in der Sekunde getroffen wurden, so glauben wir den Ton a, auf den die Geige gestimmt ist, zu vernehmen.

Doch ehe wir versuchen, dies ein wenig zu verstehen, wollen wir erst einmal erfahren, welche Tiere überhaupt solche Sinneszellen besitzen. Das festzustellen, ist aber gar nicht so einfach; wir können ein Tier ja nicht fragen: hast du gehört? Wir sind vielmehr genötigt, Umwege einzuschlagen, um zum Ziel zu gelangen. Zuerst wird man einmal nach Sinnesorganen suchen, die unserem Ohr ähneln. Ihr Vorhandensein beweist aber noch nicht, daß das Tier wirklich hört. Denn dem Ohr kommen, wie wir noch erfahren werden, auch andere Tätigkeiten zu als nur Hören. So muß man denn versuchen, das Tier mit Schallwellen zu reizen und dann feststellen, ob es durch Bewegungen oder Fluchtversuche eine Wirkung erkennen läßt. Selbst dann aber muß man noch sehr vorsichtig sein, um sicher zu gehen, daß nicht gleichzeitige Erschütterungen den Tastsinn der Haut reizten oder die Erzeugung des Tones gar gesehen werden konnte. Und dann muß auch noch die Probe auf das Exempel stimmen, nämlich, daß die beobachteten Wirkungen des Schallreizes ausfallen, wenn das vermeintliche Hörorgan herausoperiert ist.

Die Antworten, die der vorsichtige Forscher auf solche Weise erhält, stimmen allerdings oft so gar nicht mit dem überein, was wir gewohnt sind, zu glauben. Wer zweifelt daran, daß der Gesang der tanzenden Mücken über dem Sumpf von ihren Brüdern und Schwestern gehört wird, und daß das Abendlied der Heimchen und Zikaden auch seine Bewunderer hat? Ein jeder kennt die Sage von Arion, der Töne Meister, dessen wunderbarem Gesang alle Tiere in Wasser, Luft und Erde lauschten. Leider nur eine Sage. Denn wir können jetzt mit Sicherheit sagen, daß mindestens die Mehrzahl des kleinen Getiers, das da kreucht und fleucht (das die Naturforscher als wirbellose Tiere bezeichnen), taub ist. Vielleicht sind die Heupferde, deren schrille Geigentöne die Sommernacht erfüllen, und die seltsam lauten Zikaden warmer Länder die einzigen unter ihnen, die hören können, und selbst das ist nicht ganz sicher. Ja, selbst die Fische also die einfachsten unter den Wirbeltieren, sind zum mindesten in ihrer großen Mehrzahl taub. Gerade über sie hat man sich viel den Kopf zerbrochen, weil es so gar nicht zu den täglichen Erfahrungen passen wollte. Man hört immer wieder, daß in dieser oder jener Fischzuchtanstalt die Fische durch einen Glockenton zusammengerufen werden. Wir sahen selbst einmal in einer japanischen Aalbrüterei, wie der Fischer mit einem großen Messer, das zum Zerhacken der als Futter benutzten Seidenwurmpuppen diente, auf ein Brett klopfte und alsbald ein unglaubliches Gewühl von Aalen an der Futterstelle erschien. Mit allen Vorsichtsmaßregeln ausgeführte Versuche haben aber stets ergeben, daß die Fische entweder den Wärter sehen oder Erschütterungen im Wasser mit ihrem Tastsinn wahrnehmen; daß aber die Glockenzeichen unbeachtet blieben, wenn solches ausgeschlossen wurde.

Die übrigen Wirbeltiere aber hören, und das ist ja auch zu erwarten, wenn man weiß, daß sie oft selbst Töne hervorbringen können, deren Wahrnehmung, meist durch das andere Geschlecht, lebenswichtig sein mag. Das trifft für die schönen Ständchen zu, die Frösche und Unken an warmen Sommerabenden ihren Geliebten bringen. Der Gelehrte glaubt

ihnen das allerdings nicht eher, als bis er sie mit verwickelten Maschinen gründlich geprüft hat, und unzweifelhaft feststellte, daß sie ihren eigenen Gesang wirklich auch hören können. Da fällt mir nun gerade eine Geschichte ein, wie ein solches Tier Sieger in einem Gesangswettstreit blieb. Sie ist nicht sehr gelehrt, aber die Wissenschaft, wie alles im Leben, mundet besser, wenn man hie und da einmal dazwischen lachen kann. Einer meiner Studienfreunde in der romantischen Musenstadt am Neckar war ein großer Tierliebhaber. In dem seiner mit Schlangen und Eidechsen gefüllten Bude benachbarten Zimmer wohnte damals einer jener unerfreulichen Gesellen, die mit niemand im Frieden leben können. Der hatte sich nun darauf versteift, immer dann Gesangsübungen zu veranstalten, wenn mein Freund arbeitete und war im Guten nicht davon abzubringen. So beschloß der Gequälte den bösen Nachbar mit wissenschaftlichen Methoden zu vertreiben und bestellte bei einem Tierhändler einen riesigen amerikanischen Ochsenfrosch. Es war gerade in der Zeit der Burenbegeisterung, und so wurde die Bestie, die bald durch ihre Heldentaten der allgemeine Liebling wurde, Ohm Paul genannt. Nun kamen die warmen Sommernächte und die Liebe erwachte im Froschherzen; da legte sich Ohm Paul im Wasserbehälter seines Käfigs auf den Bauch und brüllte die Nächte hindurch, wie es nur ein alter Ochsenfrosch kann. Da zog der sangesfreudige Nachbar besiegt und in Wut aus.

Nun aber wieder zur Sache. Auch von den Tieren im Reich der Reptilien kann man mit Sicherheit behaupten, daß sie hören können, wenn es auch selten von ihnen selbst hervorgebrachte Töne sind. Immerhin gibt es auch bei ihnen Sänger. Gar mancher Reisende wurde in der ersten Nacht, die er unter dem schwülen Moskitonetz eines Tropengasthofes verbrachte, von eigenartigen, hellquiekenden Tönen über seinem Kopf aufgeschreckt, zwischen die in gewissen Gegenden ein lauter Ruf wie To—keh, To—keh eingestreut ist. Er ist nicht wenig erstaunt, wenn er dann den Schreihals findet, eine kleine, Gecko genannte Eidechse, von denen Dutzende bei Tag hinter Spiegeln und Schränken sitzen, um bei

Nacht hervorzukommen und auf die Fliegenjagd zu gehen (Abb. 57). Da wir nun gerade im fernen Osten sind, so wollen wir auch eine Zeitlang jenem indischen Gaukler zuschauen, der vor der Terrasse des Gasthofes seine Künste vorführt. Er stellt ein Körbchen vor sich hin und beginnt auf einer Flöte, den Körper hin- und herwiegend, zu blasen. Aus dem Korb kriecht eine Brillenschlange hervor, richtet ihren Vorderkörper steil auf und wiegt ihn hin und her, tanzt. Kein Zweifel, daß sie die Töne der Flöte zu hören vermag. Müssen wir nun noch zufügen, daß die Nachtigall den süßen Gesang des verliebten Männchens vernimmt und die Küken den Ruf der Henne; und daß, wie der Mensch, auch seine nächsten Vettern, die Säugetiere Gehör haben, die Ratten die bestrickenden Weisen des Rattenfängers ebenso vernehmen konnten wie die Mägdlein von Hameln?

Abb. 57. Gecko.

2.

Nun zu den Hörorganen selbst! Als wir die Aufnahmsorgane des Gesichtssinnes uns vorführten, benutzten wir den Vergleich mit einem photographischen Apparat, um uns die Bedeutung der einzelnen Teile näher zu bringen. Auch beim Gehörsinn könnten wir eine Maschine zum Vergleich heran-

ziehen, vielleicht einen jener Sprechapparate, die so vielen Menschen Freude und vielleicht noch mehreren Qual bereiten. Denn, wenn die Platte oder Walze, von der das Lied „gespielt" wird, angefertigt wird, ist die Maschine ja ein Hörapparat, in dem die Schallwellen, die aus dem Mund des Sängers kommen, aufgefangen und auf die Platte gebannt werden. Da erscheinen uns wieder zwei Hauptteile gesondert: einmal die Platte, die die Eindrücke der Schallwellen aufnimmt, sodann der Schalltrichter, die Trommel und der Schreibstift, die die Wellen zur Platte leiten. Die Platte wäre wieder den schallempfindlichen Sinneszellen zu vergleichen, der Rest den Hilfseinrichtungen zur Schalleitung, die den auffallenden Teil des „Ohrs" ausmachen.

Da wollen wir zunächst einmal etwas von der Arbeit der Sinneszellen hören. Wir wissen, daß die Schallwellen der richtige Reiz sind, der sie in Erregung versetzt. Wir wissen ferner, daß diese Zellen verschiedene Töne zu unterscheiden vermögen, also auf Schallwellen von verschiedener Zahl der Schwingungen (es waren zwischen 16 und 4500 bei den Tönen der Musik) verschiedenartig ansprechen. Nun lauschen wir aber einmal dem Klang eines großen Orchesters, in dem zu gleicher Zeit zwölf und mehr verschiedene Töne erzeugt werden, die wir alle gleichzeitig hören können. Das kann aber unmöglich von der gleichen Sinneszelle besorgt werden; es ist vielmehr zu erwarten, daß es für jede Tonhöhe bestimmte Sinneszellen gibt. Wieso aber die richtige Wirkung zustande kommen kann, ist uns doch nicht so ohne weiteres klar. Dazu müssen wir zunächst noch etwas anderes erfahren. Wir gehen zum Klavier und drücken die Tasten nieder, wodurch die dämpfenden Filzstreifen von den Saiten im Innern entfernt werden. Singen wir nun einen reinen Ton ins Instrument hinein, so ertönt die Saite des gleichen Tones mit. Die Schallwellen besitzen also die Fähigkeit, Gegenstände, die auf die gleiche Schwingungszahl abgestimmt sind, zum Mitschwingen zu veranlassen. Wenn wir nun das innere Ohr eines hörenden Tieres, also den Teil, der die Sinneszellen enthält, betrachten, so zeigt sich etwas gar Merkwürdiges. Wir haben da eine in die schützenden Knochen des Schädels dicht

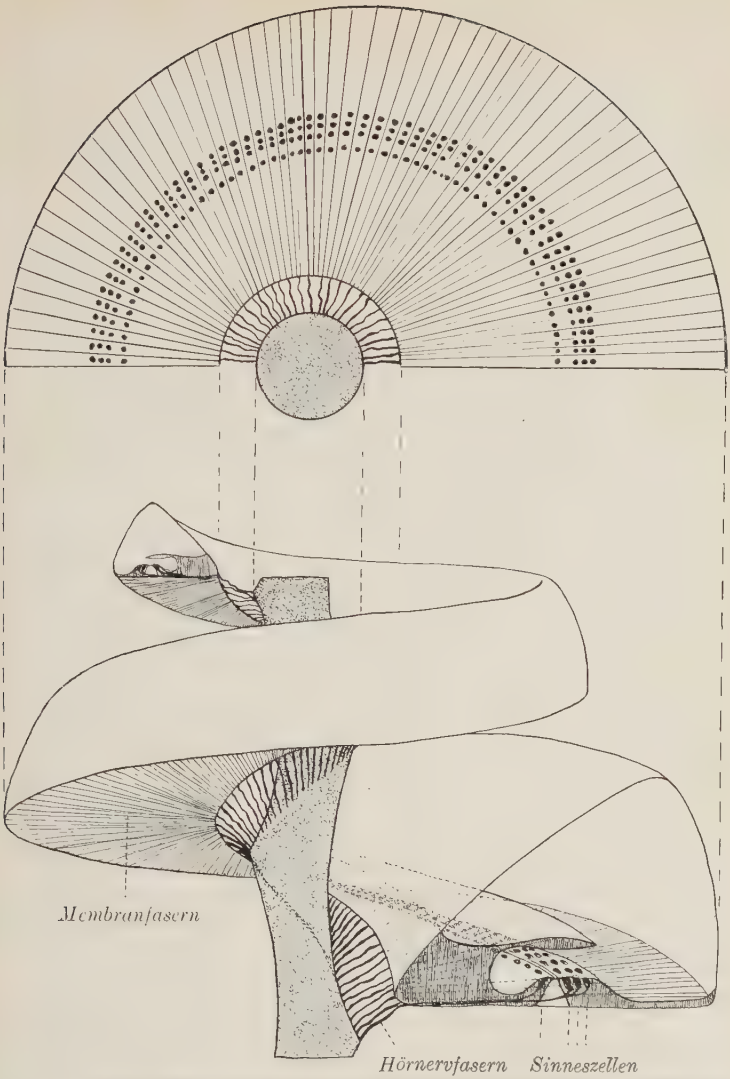


Abb. 58. Eineinhalb Windungen der Schnecke eines Säugetieres. Durch die Achse zieht der punktierte Hörnerv. Auf der Grundmembran mit ihren ausgespannten Fasern sitzen die Hörzellen. Darüber ein Stück der Grundmembran, von der Fläche gesehen, mit den Reihen der als Punkte dargestellten Sinneszellen und den Membranfasern verschiedener Länge.

eingeschlossene häutige Blase, die bei den Säugetieren wie ein Schneckenhaus gewunden ist und deshalb Schnecke genannt wird (Abb. 58). Ihre eine Wand wird von einer straff gespannten Haut gebildet, auf der die Sinneszellen sitzen. Diese stehen nun in Reihen wie die Tasten eines Klaviers und neben und unter ihnen finden sich allerlei reihenförmig angeordnete Dinge. So befinden sich in der Haut, die die Sinneszellen trägt, in regelmäßigen Abständen wie Saiten ausgespannte Fäden. Nun brauchen wir keinen allzu großen Sprung mehr zu machen, um zu der Vorstellung zu kommen, daß alle diese gespannten Saiten unterhalb der Sinneszellen auf verschiedene Töne gestimmt sind. Wenn nun Schallwellen hierhin gelangen, so schwingt mit jedem Ton der gleichgestimmte Faden mit, und dies wird alsbald von der darüberliegenden Sinneszelle dem Gehirn berichtet: wir hören den bestimmten Ton.

Das reizt nun sicher eure Wißbegier und ihr möchtet wohl mehr davon erfahren, etwa wie man das nachweisen kann oder ob das eine unzweifelhaft feststehende Erklärung ist. Wie der Vater so oft gezwungen ist, dem fragenden Kind zu antworten, „das verstehst du noch nicht", so geht es uns auch hier. Ein wenig Überlegung zeigt, daß, um dies alles gründlich verstehen zu können, man erst genau mit dem Wesen der Schallwellen vertraut sein muß, also eine gründliche Schulung in Physik benötigt. Es ist nun einmal eine bewundernswerte, aber auch traurige Tatsache, daß die Wissenschaft bereits einen solchen Umfang angenommen hat, daß der beste Kopf nur ein ganz, ganz klein Teilchen gründlich kennenlernen kann und man sich zufrieden geben muß, in andere wissenswerte Dinge nur ein wenig die Nase zu stecken. So wollen wir uns auch hier mit dem Gehörten bescheiden.

Nunmehr müssen wir aber die Maschine kennenlernen, die dafür sorgt, daß der Schall auch richtig zu den ihn empfindenden Sinneszellen gelangt. Im großen ganzen ist das wohl allgemein bekannt. Da findet sich zunächst außen am Kopf der Schalltrichter des Grammophons, die Ohrmuschel, die den Schall auffängt. Frösche, Eidechsen und Schlangen be-

sitzen sie noch nicht, Vögel, wenn überhaupt, nur schwach entwickelt und erst beim Säugetier bekommt sie eine richtige Bedeutung. Wer mit offenen Augen durch die Welt geht, weiß auch, welche Rolle sie für die Tierwelt spielt. Aufmerksamkeit und Ohrenspitzen erscheinen uns bei einem Pferd oder Hund gleichbedeutend. Das besagt nichts anderes, als daß die bewegliche Ohrmuschel in die Richtung, aus der der Schall kommt, gedreht wird, um ihn besser aufzufangen. Für viele Tiere mag diese Kenntnis der Schallrichtung keine große Bedeutung haben, für andere aber ist sie eine Lebens-

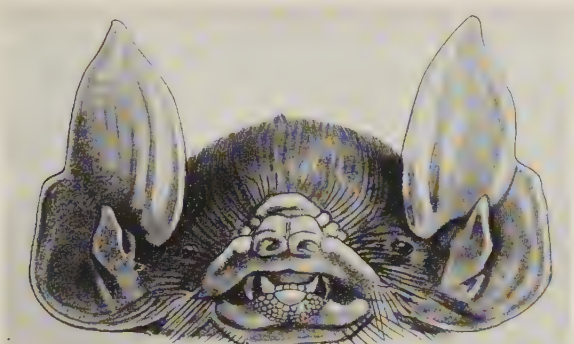


Abb. 59. Kopf einer Fledermaus mit großen Ohrmuscheln.

notwendigkeit, so für Nachttiere, die für alle Wahrnehmungen größtenteils auf Gehör und Gefühl angewiesen sind. So besitzen sie denn auch besonders große und bewegliche Ohren. Manche Fledermäuse sind dafür deutliche Beispiele, sie sind sozusagen „ganz Ohr" (Abb. 59).

Die von dem Ohr aufgefangenen Schallwellen werden dann durch den engen Kanal des äußeren Gehörganges weitergeleitet, bis sie auf ein absonderliches Gebilde treffen, das Trommelfell. Bei einem Frosch oder einer Eidechse ist es leicht zu sehen, denn es liegt außen am Kopf frei zutage (Abb. 60), während es bei uns in der Tiefe des Gehörganges versteckt ist. Ähnlich dem Kalbfell einer Trommel oder der schwingenden Membran im Telephon ist es da in einem

Knochenring ausgespannt und wird durch die Schallwellen in Schwingungen versetzt. Letztere werden dann auf einem der eigenartigsten und in seiner Art vollkommenen Wege den Empfindungszellen der Schnecke zugeleitet, nämlich durch die Gehörknöchelchen (Abb. 61). Jedermann erinnert sich an sie von der Schule her, diese winzigen Knöchelchen, deren es bei den niederen Wirbeltieren nur eines gibt, bei den Säugetieren drei, Hammer, Amboß, Steigbügel genannt. Der Ham-

Abb. 60. Frosch, um das äußere Trommelfell hinter dem Auge zu zeigen.

mer sitzt dem Trommelfell an und verbindet sich durch den Amboß mit dem Steigbügel. Die die Sinneszellen enthaltende Schnecke ist nun mit einer Flüssigkeit angefüllt und allseitig von festem Knochen umschlossen. Nur an einer Stelle ist der Knochen von einem Fensterchen durchbrochen, das durch ein Häutchen verschlossen ist. An ihm setzt sich der Steigbügel an und durch seine Vermittlung endlich werden die Schallwellen auf das Ohrwasser der Schnecke und damit zu den mitschwingenden Fasern übertragen. Wie einfach das alles klingt und wie verwickelt ist es doch in Wirklichkeit, wo jede Form der Oberfläche der Knöchelchen, jedes Gelenk,

das sie verbindet, und die winzigen Muskelchen, die sie ein wenig verschieben können, einen berechenbaren Einfluß auf die Leistung haben!

3.

Es ist einfach unmöglich, an diesen Knöchelchen vorüberzugehen, ohne sie einmal von einer ganz anderen und unerwarteten Seite her betrachtet zu haben. Ein solches Organ

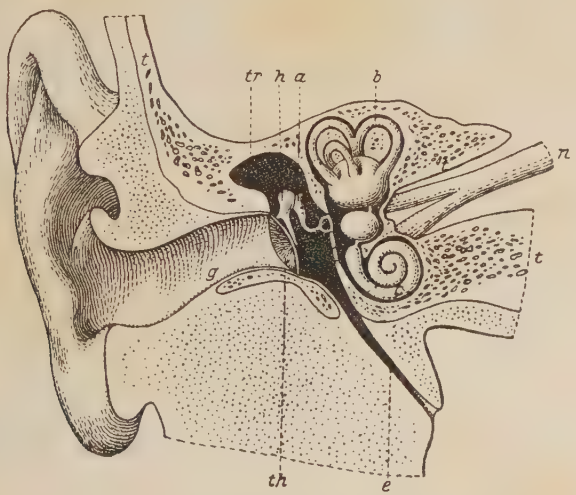


Abb. 61. Geöffnetes Gehörorgan des Menschen. Von der Ohrmuschel links führt der äußere Gehörgang *g* zum Trommelfell *th*. In der Paukenhöhle *tr* liegen die Gehörknöchelchen, der Hammer *h*, der Amboß *a* und der Steigbügel, der dem inneren Ohr ansitzt. *c* die Schnecke, *b* die Bogengänge, *n* Hörnerv, *t* Schläfenbeinknochen, *e* die in die Rachenhöhle führende Eustachische Röhre.

kann uns nämlich ganz verschiedenartige Dinge lehren, je nach der Fragestellung, mit der wir an es herantreten. Da kommt der Anatom und stellt die feinsten Einzelheiten seines Baues fest, da kommt einer, der sich Physiologe nennt und klärt uns darüber auf, wie es arbeitet, dann kommt der Embryologe und sagt uns, wie es sich Schritt für Schritt im

Mutterleib entwickelt. Endlich kommt auch der vergleichende Anatom. Er vergleicht das Organ mit dem der nächsten Vettern und noch entfernteren Verwandten. Dann entfernt er sich immer weiter im Verwandtschaftskreis, betrachtet und vergleicht auch da seine Befunde, und so zieht er allmählich alle lebenden und ausgestorbenen Tierformen heran. Sein Führer bei diesen Vergleichen ist aber die Abstammungslehre, die Überzeugung, daß sich die Formen des Tierreiches allmählich entwickelt haben. Bei seinen Vergleichen hat er kennengelernt, daß sich Organe bestimmter Leistung in solche ganz anderer Leistung umwandeln können. Wenn er

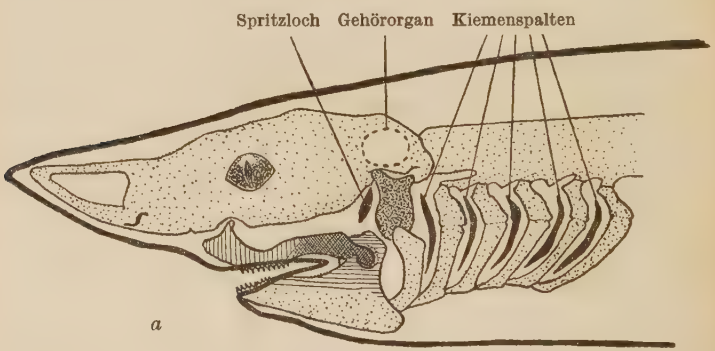


Abb. 62. *a* Vorderende eines Haifisches mit Kopfskelett und Lage der Kiemenspalten, des Gehörorganes und des Spritzloches.

etwa den Flügel des Vogels mit dem Vorderbein der Eidechse vergleicht, so findet er, daß die Übereinstimmung eine so große ist, daß man schließen muß, daß im Lauf vorgeschichtlicher Zeiten sich der Flügel aus einem Vorderbein, oder, was das gleiche ist, Arm, entwickelt hat. Solche Schlußfolgerungen werden aber sehr oft auf eine sehr merkwürdige Weise gestützt. Es ist eine der interessantesten Erscheinungen, daß in der Entwicklung eines Tieres Erinnerungen an längst entschwundene Ahnen auftauchen, daß ein Organ zuerst so aussieht, wie es bei den Vorfahren aussah, ehe es seine endgültige Gestaltung annimmt; daß also in der Einzelentwicklung einige Blätter aus der uralten Geschichte der Entwick-

lung im Lauf der Zeiten wiedererzählt werden. Diese Erinnerungen stimmen aber meist auf das Schönste mit den Schlüssen überein, die aus dem bloßen Vergleich gezogen waren. So lehrt z. B. der Vergleich, daß gewisse Teile unseres Halses in letzter Linie von Fischkiemen herzuleiten sind, und tatsächlich durchläuft jeder von uns ein Stadium, in dem richtige Kiemenspalten erkennbar sind.

Doch nun zu unseren Gehörknöchelchen! Die vergleichende Anatomie in Verbindung mit der Entwicklungsgeschichte hat für sie eine gar merkwürdige Geschichte schreiben können. Bei den Fischen gibt es noch keine Gehörknöchelchen und

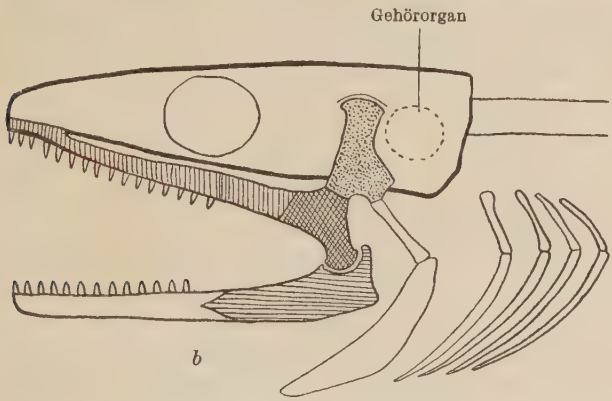


Abb. 62. *b* Kopfskelett eines Knochenfisches.

keinen Gehörgang, der vom äußeren zum inneren Ohr führt, und von hier, wie wir jetzt noch zufügen können, nach dem Rachen, wo er sich als sogenannte Ohrtrompete öffnet. An der entsprechenden Stelle aber liegt bei Haifischen ein von der Außenwelt in den Schlund führender Kanal, der ursprünglich eine Kiemenröhre war, aber nicht mehr der Atmung dient und Spritzloch genannt wird (Abb. 62 *a*). Würden wir uns nun einmal, etwa an einem gekochten Schellfisch, die Kopfknochen anschauen, so fänden wir, daß der Oberkiefer nicht wie bei uns am Schädel festgewachsen, sondern frei beweglich an ihm aufgehängt ist, und zwar durch Vermittlung eines besonderen Knochens, den man den Kiefer-

stiel nennt (Abb. 62 *a*, *b*). Hinten am Oberkiefer gelenkt aber der Unterkiefer und dies Gelenk liegt in einem Knochen des Oberkiefers, der das Quadratbein genannt wird.

Betrachten wir nun die nächst höheren Wirbeltiere, die Amphibien, Reptilien, Vögel, so bemerken wir, daß sie einen Gehörgang besitzen, der außen durch das Trommelfell abgeschlossen ist und innen als Ohrtrompete im Schlund mündet. Der Vergleich sowohl wie die Betrachtung der Entwicklungsgeschichte zeigen, daß der Gehörgang nichts anderes ist wie das Spritzloch der Haifische, das jetzt eine neue Aufgabe übernommen hat. In diesem Gehörgang aber findet sich jetzt ein einziges Gehörknöchelchen. Betrachten wir nun wieder die Befestigung des Kiefers am Schädel, so möchten wir vergeblich nach dem Kieferstiel suchen, er scheint verschwunden zu sein, dagegen ist das Quadratbein noch vorhanden, trägt auch noch das Gelenk für den Unterkiefer, sitzt aber nun direkt am Schädel in der Nähe des Gehörorganes. Der Knochen aber des aus vielen Einzelknochen zusammengesetzten Unterkiefers, der mit dem Quadratbein gelenkt, heißt, wie auch schon bei den Fischen, das Gelenkbein. Wiederum zeigen Vergleich wie Entwicklungsgeschichte, daß das Gehörknöchelchen im Ohr nichts anderes ist als der ehemalige Kieferstiel der Fische, der sich in den Gehörgang begeben und hier die neue Aufgabe eines Gehörknochens angenommen hat (Abb. 62 *c*).

Und nun kommen wir zu den Säugetieren, zu denen natürlich auch der Mensch gehört: hier finden wir, wie gesagt, im Gehörgang drei Knöchelchen, Hammer, Amboß und Steigbügel. Wir erraten nun schon, daß der am weitesten innen gelegene Steigbügel sich immer noch als der ehemalige Kieferstiel der Fische erweist. Und die beiden anderen? Da sind eben, genau wie seinerzeit beim Kieferstiel, zwei weitere in der Nähe liegende Knochen in den Dienst des Gehörorganes getreten. Betrachten wir wieder den Kiefer, so finden wir ihn direkt am Schädel gelenken: das vermittelnde Quadratbein ist verschwunden, verschwunden aber nur von der Kopfoberfläche, denn wir finden es bei genauem Studium als Amboß wieder vor. Untersuchen wir nun die Gelenkung des

Unterkiefers, so bemerken wir, daß hier das Gelenkbein fehlt und wir erraten sogleich, daß es zum Hammer geworden ist (Abb. 62 d). Mit Verständnis und Befriedigung werden wir jetzt ein Präparat eines jungen menschlichen Embryo betrachten, das uns die drei Knochen noch in der Lage zeigt,

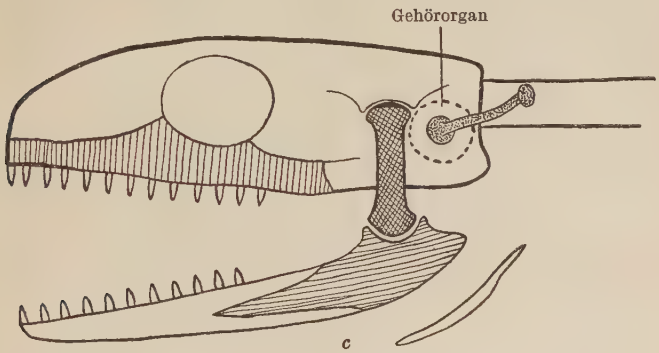


Abb. 62. *c* Kopfskelett eines Reptils.

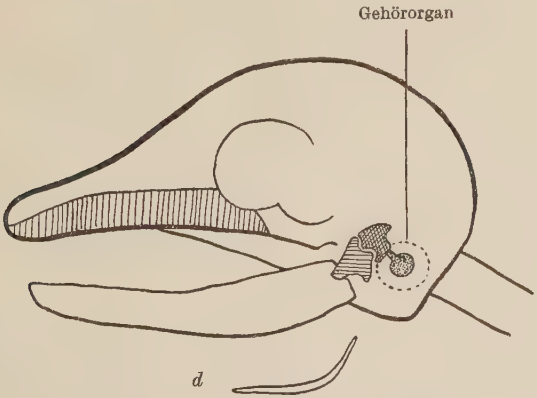


Abb. 62. *d* Kopfskelett eines Säugetieres.

Die vier Abbildungen zeigen die Ausbildung der Gehörknöchelchen aus dem Kiemenskelett. Eng punktiert der Kieferstiel, der in *a* und *b* als solcher vorhanden ist, in *c* bereits ein Gehörknöchelchen ist, in *d* den Steigbügel darstellt. Eng schraffiert der Gelenkanteil des Oberkiefers, der in *a* noch ein Teil des Oberkiefers, in *b* als Quadratbein abgegrenzt ist, in *c* als Quadratbein die Gelenkung des Unterkiefers besorgt, in *d* als Amboß ein Gehörknöchelchen geworden ist. Wagerecht schraffiert der Gelenkteil des Unterkiefers, der in *a* noch nicht abgegrenzt ist, in *b* das abgegrenzte Gelenkbein darstellt, ebenso in *c* und in *d* als Hammer ein Gehörknöchelchen wurde.

die sie bei einem Fisch als Kieferstiel, Quadratbein, Gelenkbein einnahmen (Abb. 63). Denn auch sie wiederholen uns, ehe sie zu richtigen Gehörknöchelchen werden, immer wieder erst ihre Geschichte. So tragen wir in dem wunderlichen Schalleitungsapparat unseres Ohres — und ebenso auch an verschiedenen anderen Stellen unseres Körpers — ständig eine lebende Familienchronik mit uns, die bis in die graue Vorzeit der Fischahnen hinabreicht.

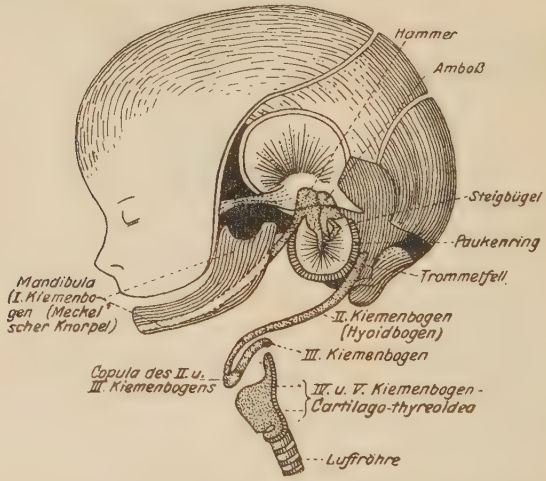


Abb. 63. Kopf eines älteren menschlichen Embryo, der die Herkunft der Gehörknöchelchen und der Teile des Kehlkopfskelettes aus den Kiemenbogen zeigt.

4.

Wir hatten früher einmal gelegentlich bemerkt, daß dem Ohr auch noch andere Aufgaben zukommen als das Hören. Vielleicht sind wir da mißverstanden worden. Das sollte nämlich durchaus nicht heißen, daß die Hörzellen für die Aufnahme noch anderer Reize als Schallwellen eingerichtet sind. Denn es ist ja eine der Grundtatsachen der Lehre von den Sinnesorganen, daß jede Art von Sinneszellen nur eine Art von Sinneseindruck vermitteln kann: eine Sehzelle kann nur Lichtempfindungen, eine Schallzelle nur Hörempfindungen auslösen. Man könnte solche Zellen ja auch auf unnatür-

lichem Weg reizen, etwa sie stark drücken oder ihnen einen elektrischen Schlag versetzen. Widerfährt das einer Sehzelle, so empfinden wir trotzdem einen Lichteindruck, bei einer Hörzelle einen Schalleindruck oder Knall. Es ist aber leicht einzusehen, daß das nicht an den Sinneszellen selbst liegt. Denn würden wir die Nervenfäden, die von den Sinneszellen zum Gehirn führen, reizen, so wäre die Empfindung die gleiche wie vorher: das Durchschneiden des Sehnerven empfänden wir als einen Blitz, das Durchschneiden des Hörnerven als einen Knall. Die Sinneszellen werden also einfach in Erregung gesetzt, aber in unserem Hirn verbinden wir mit der Nachricht von dieser Erregung die Vorstellung dessen, worauf die betreffenden Sinneszellen eingestellt sind, also von Licht oder Schall. Wenn wir also von anderen Aufgaben des Ohres sprechen, so meinten wir nicht, daß das Gehörorgan etwas anderes als Schall empfinden kann, sondern nur, daß in dem Teil unseres Körpers, den wir als Ohr bezeichnen, mehrere verschiedene Sinnesorgane räumlich vereinigt sind. Gerade aus dieser Vereinigung entsprang die irrtümliche Anschauung, daß die meisten Tiere hören können, nämlich solange man glaubte, daß ohrenähnliche Organe auch zum Hören dienen müssen. Heute weiß man, daß sie anderen Aufgaben dienen, und zwar verschiedenartigen, von denen eine so interessant ist, daß wir ihr noch eine kurze Betrachtung widmen wollen.

Beobachten wir irgendein Tier in der Luft, auf der Erde, im Wasser, so nimmt sein Körper stets eine bestimmte Stellung im Raum ein. Ein Fisch oder Krebs schwimmt in seiner natürlichen Haltung mit dem Rücken nach oben. Das könnte natürlich eine sehr einfache Ursache haben, nämlich die notwendige Folge der Verteilung der Masse seines Körpers, anders ausgedrückt, der Lage seines Schwerpunktes sein, also der gleiche Grund, weshalb ein Schiff mit dem Mast nach oben schwimmt. Gewiß gibt es genug Tiere, bei denen es sich so verhält. Bei anderen aber trifft das nicht zu; denn wenn sie tot sind, also nur die Verteilung der Massen wirkt, nehmen sie eine ganz andere Lage ein. Die natürliche Gleichgewichtslage ist also durch Muskeltätigkeit bedingt. Das hat

nun wieder zur selbstverständlichen Voraussetzung, daß das Tier seine Lage im Raum kennt, oder mit anderen Worten, daß es ein Sinnesorgan besitzt, das ihm die Lage seines Körpers anzeigt. Tatsächlich finden sich auch solche Organe des Gleichgewichtssinnes in vielen Gruppen des Tierreiches und

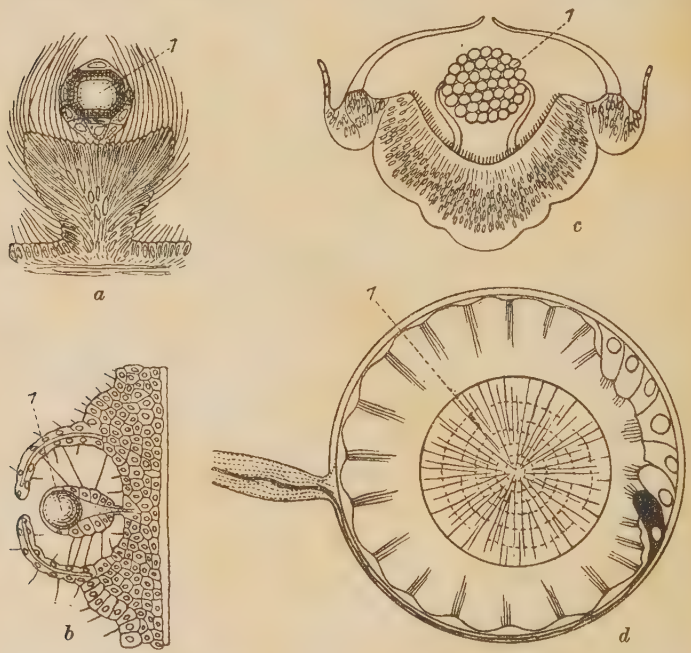


Abb. 64. Verschiedene Gleichgewichtsorgane. *a* und *b* von Quallen, *c* von einer Rippenqualle, *d* von einer Schwimmschnecke, *1* der Gleichgewichtsstein.

sie sind es, die sich bei Wirbeltieren innerhalb des Ohr genannten Körperteiles finden.

Ihr Bau enthüllt uns eine ob ihrer Einfachheit und Zweckmäßigkeit bewundernswerte Maschine. Bei vielen niederen Tieren, z. B. Krebsen und Schnecken, hat ein solches Gleichgewichtsorgan die Form eines Bläschens, das, wenn es geschlossen ist, mit einer Flüssigkeit angefüllt erscheint. Die Wand des Bläschens enthält die Sinneszellen, die mit feinen Härchen bedeckt sind, die in die Flüssigkeit ragen. In der

Flüssigkeit aber schwebt eine schwere Kugel, meist aus Kalksalz bestehend, und sie übt einen gewissen Druck auf die feinen Sinneshärchen aus (Abb. 64, 65). Wenn der Körper nun seine Lage wechselt, so rollt die Kugel und drückt dadurch auf andere Sinneszellen, die somit von dem Lagewechsel Nachricht geben können. Daß dies wirklich so vorgeht, läßt sich beweisen, indem entweder das ganze Bläschen herausgeschnitten oder nur die Kugel entfernt oder auch nur der Sinnesnerv, der vom Bläschen zum Gehirn

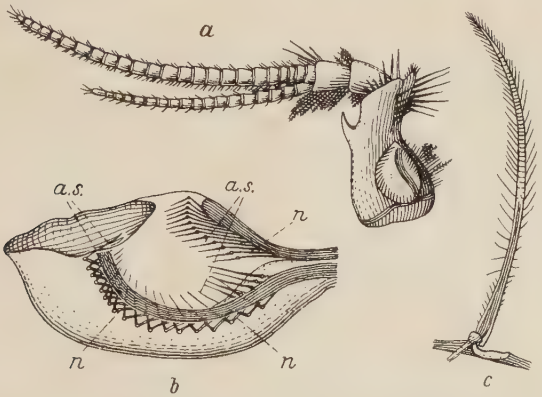


Abb. 65. Gleichgewichtsorgan des Flußkrebses. *a* die kleine Antenne, in deren Schaft das Organ liegt. *b* das herauspräparierte Bläschen mit einer Reihe von Sinneshaaren *a s* und den Sinnesnerven *n*. *c* ein einzelnes Sinneshaar.

führt, durchschnitten wird (Abb. 66). Ein so operiertes Tier hat die Fähigkeit verloren, sich im Raum zurechtzufinden und rollt hilflos im Wasser umher, unfähig, eine richtige Gleichgewichtslage anzunehmen. Geradezu humorvoll ist es aber, wie ein Forscher den gleichen Beweis für die Gleichgewichtsorgane der Krebse erbringen konnte. Bei ihnen liegen die Bläschen vorn am Kopf in den kleinen Fühlhörnern, die dort wie ein Schnurrbart hervorragen. Sie sind nach außen geöffnet und an Stelle einer Kalkkugel enthalten sie Sandkörnchen, die der Krebs sich selbst hineinstopft! Wir wissen nun schon, daß solche Krebse wachsen, indem sie ihre alte Haut abstreifen. Das Bläschen ist nun auch von dieser Haut —

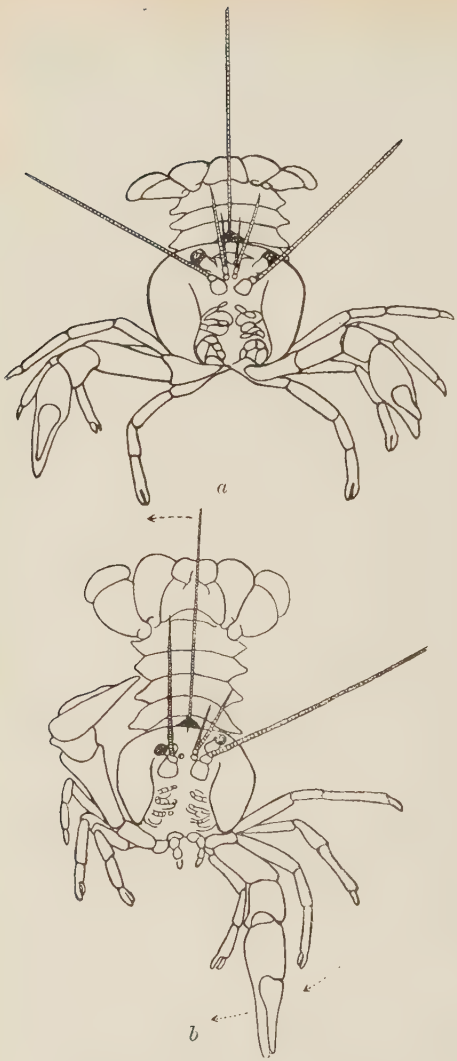


Abb. 66. *a* Flußkrebs an einem Faden senkrecht im Wasser aufgehängt in Ruhelage. *b* derselbe, nach Entfernung des rechten Gleichgewichtsorganes eine Bewegung ausführend, wie wenn er links tiefer liegen würde und sich aufrichten möchte.

richtiger ausgedrückt, dem Chitinpanzer — ausgekleidet, und wenn die Häutung stattfindet, wird mit dem inneren Bezug des Bläschens natürlich auch der Sand entfernt; der frischgehäutete Krebs stopft sich dann aber wieder neuen Sand hinein. Dieser Augenblick wurde nun benutzt und der Krebs in ganz reines Wasser gebracht, in dem sich keine anderen Fremdkörper als Eisenfeilstaub fanden. Und richtig praktizierte sich der Krebs auch diesen in sein Gleichgewichtsorgan. Nun kam der Gelehrte, der den Krebs so angeführt hatte, mit einem Magneten und zog das Eisen bald hierhin, bald dorthin und stets antwortete der Krebs mit einer bestimmten Bewegung. Zog er etwa das Eisen nach links, so drückte es auf die links gelegenen Sinneszellen, genau wie es der Fall

wäre, wenn der Krebs nach links überpurzelte. Im Gehirn des Krebses mußte also dieser Eindruck erzeugt werden, obwohl er sich in Wirklichkeit in ganz richtiger Lage befand, und er suchte dem entgegenzuarbeiten, indem er die Bewegungen machte, die ihn aufrichten würden. Da er aber in Wirklichkeit ja aufgerichtet war, so brachte ihn die betreffende Bewegung in eine schiefe Lage nach rechts!

Bei den Wirbeltieren, also auch bei uns, findet sich, wie gesagt, ein solches Organ in engster Verbindung mit dem Gehörorgan. Ja sogar ein drittes Organ schließt sich an und all diese Teile haben eine so verwickelte Anordnung, daß man

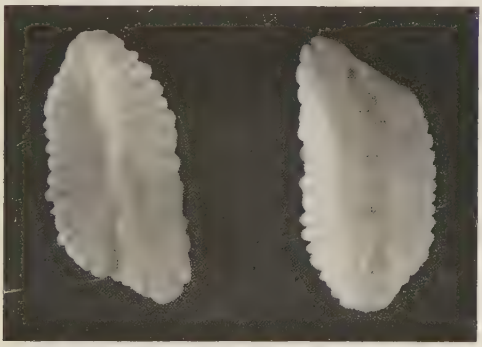


Abb. 67. Gleichgewichtssteine eines Kabeljaus.

sie insgesamt das Labyrinth nennt. Dies muß sich also aus drei Teilen zusammensetzen. Den ersten, die Schnecke, kennen wir bereits, der zweite schließt direkt an den gewundenen Sack, der die Schnecke darstellt, an, und besteht aus zwei Bläschen, die die Hörsteinchensäcke heißen (s. Abb. 61, S. 141). Denn ehe man ihre wirkliche Aufgabe kannte, glaubte man, die Steinchen hätten mit dem Hören zu tun; wir wissen jetzt aber schon vom Krebse her, was ihre Aufgabe ist. Die Steine sind übrigens bei den Fischen so groß, daß jedermann sie sich mühelos aus einem gekochten Schellfischkopf herausnehmen kann; der größte der drei vorhandenen ist hier etwa bohnengroß (Abb. 67). Endlich der dritte Teil, der sich an diese Säckchen anschließt, ist der merk-

würdigste von allen. Man spricht von den drei Bogengängen und sie sind drei von einer Flüssigkeit erfüllte halbkreisförmige Röhrchen, von denen immer eines wagerecht und die beiden anderen senkrecht, aber wieder aufeinander lotrecht stehen (Abb. 61 u. 68). Man nehme etwa ein Kästchen ohne Deckel und entferne zwei aneinanderstoßende Seitenwände, so entspricht die Stellung des Bodens und der beiden gebliebenen Wände der Lage der Bogengänge. Diese stellen nun wieder ein anderes Sinnesorgan dar, dessen Sinneszellen durch die Bewegung der Flüssigkeit in den Kanälchen gereizt werden. Bewegt sich der Kopf schnell in einer Richtung, so klatscht die Flüssigkeit natürlich gegen die Sinneszellen am entgegengesetzten Ende. So vermitteln diese merkwürdigsten aller Organe die Kenntnis der Bewegungen des Kopfes in den drei Richtungen des Raumes. Auf ihnen beruht denn auch begreiflicherweise die Empfindung des Drehschwindels, den Personen mit zerstörten Bogengängen — etwa manche Taubstumme — niemals zu fühlen bekommen.

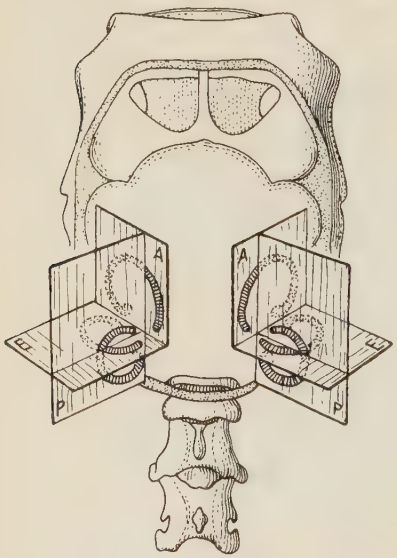


Abb. 68. Kopf einer Taube von hinten gesehen, um die Anordnung der drei Bogengänge in den drei Richtungen des Raumes zu zeigen.

Doch damit sei es nun genug von den Sinnesorganen, ohne die keine höhere Lebenstätigkeit denkbar erscheint, und deren Leistungsfähigkeit auch die erste Grundlage unseres gesamten Geisteslebens ist. Ihr entschuldigt es sicher, wenn wir zum Schlusse einige dem Nichtfachmann weniger wichtige Sinnesorgane nur dem Namen nach nennen: Sinnesorgane für Wärmereiz und für Kältereiz, solche für Schmerz und solche,

die im Innern des Körpers liegend uns über die Muskeltätigkeit auf dem Laufenden halten.

5.

Nun wird es aber Zeit, daß wir wieder zu unserem „ruhenden Pol in der Erscheinungen Flucht", der Ascaris, zurückkehren und zusehen, wie der von den Sinnesorganen empfangene Reiz weitergeleitet wird. Wir wissen bereits, daß die empfindungsleitenden Nerven ihn zu den Zentralorganen führen, wo er in einen Befehl an die tätigkeitsleitenden Nerven umgesetzt wird. Der wichtigste Teil des Nervensystems ist also zweifellos das Zentralorgan, und es leuchtet auch ohne weiteres ein, daß dies ziemlich einfach zusammengesetzt sein kann, wenn dem Tier nur wenige Lebensleistungen zukommen, daß es aber äußerst verwickelt sein muß, wenn das Tier auf höherer Stufe steht. Man mag zum Vergleich etwa an die Verwaltung eines kleinen Geschäftes denken, die von ein paar Menschen in einfachem Bureaubetrieb geleistet werden kann, auf der anderen Seite an die Verwaltung eines Staates, die das verwickelte Zusammenarbeiten zahlloser Behörden erfordert. Bei dem Spulwurm werden wir dann nur ein sehr einfaches Zentralorgan erwarten, aber es wird uns trotzdem die wesentlichen Teile eines solchen enthüllen können. Ihre Addition und Weiterentwicklung würde dann zu dem höheren Zustand führen.

Mit bloßem Auge könnten wir bei unserem Wurm nur einen ganz feinen Ring finden, der einige Millimeter vom Vorderende den Darm umspannt. Das Mikroskop enthüllt uns dann, daß dieser das nervöse Zentralorgan darstellt, in das die Nerven von den Sinnesorganen her einmünden und von dem die in den Körper verlaufenden Nerven austreten. Bei genauer Betrachtung zeigt uns dies Zentrum bereits die Teile, die jedes Nervenzentrum aufbauen, nämlich einmal Gruppen von Nervenzellen und dann Züge von Nervenfäden, die diese Gruppen verbinden (s. Abb. 47). Da aber die Leistungen unseres Wurms nur sehr einfache sind, so finden wir auch nur wenige Nervenzellgruppen, und die verbinden-

den Nervenfäden sind verhältnismäßig so wenige, daß man noch einigermaßen das Ganze überblicken kann. Da sehen wir denn, daß letzten Endes alle Teile mit allen anderen verbunden sind (Abb. 69). Aber eine Verbindungsbahn hebt sich als besonders charakteristisch heraus; das ist die Leitung, die von der Sinneszelle zur befehlsausgebenden Zelle und von ihr als tätigkeitsleitender Nerv zum Ausführungs-

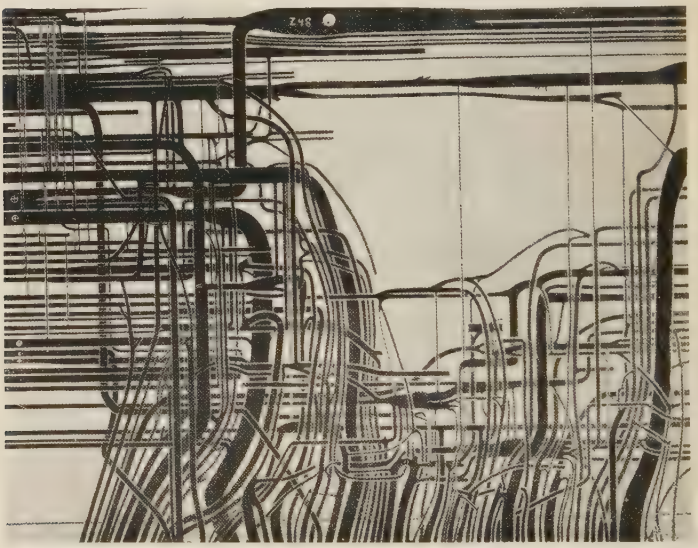


Abb. 69. Die Stelle des Austritts des Bauchnerven aus dem Schlundring einer Ascaris, um die außerordentliche Verwicklung der nervösen Verbindungen zu zeigen. In letzter Linie ist alles mit allem irgendwie verbunden.

organ, dem Muskel, führt. Diese Bahn nennt man den Reflexbogen. Denn die Bewegung, die von dem Zentralorgan ausgelöst wird, wenn ein Reiz von dem Sinnesorgan her anlangt, heißt ein Reflex. Das klingt vielleicht etwas gelehrt, ist aber sehr einfach, wenn wir es uns am Beispiel unseres eigenen Leibes klarmachen. Es fährt uns jemand plötzlich mit der Hand nach dem Auge und sofort zuckt die Wimper. Das ist ein Reflex. Der Gesichtseindruck der plötzlichen Bewegung wird nach dem Zentrum geleitet und erzeugt dort

den Befehl an den Muskel des Augenlids, sich zusammenzuziehen. Oder es wird unerwartet neben uns eine Pistole abgeschossen und wir zucken zusammen. Da wurde der Schallreiz vom Ohr nach dem Zentrum geleitet und gab dort den Befehl an eine ganze Anzahl Muskeln des Körpers, sich zu verkürzen. Aus diesen Beispielen geht nun klar hervor, was das Wesen eines Reflexes ist, vor allem zwei Dinge: erstens, der Reflex hat nichts mit Willen oder Bewußtsein zu tun; er verläuft auf einen bestimmten Reiz hin ganz zwangsmäßig, ebenso wie ein losgelassener Stein zu Boden fallen muß. Und sodann: der Reflex ist oft etwas sehr Zweckmäßiges. Das Schließen der Lider schützt die Augen vor vermeintlicher Gefahr, das Zucken ist ein beginnender Fluchtversuch.

Die Vermittlung der Reflextätigkeit ist nun eine der Hauptaufgaben des Zentralnervensystems. Da aber kein Reflex erfolgen kann, wenn nicht der nötige Reflexbogen aus Nervenfäden und Nervenzellen vorhanden ist, so muß auch höheren Reflexleistungen eines Tieres ein verwickelter aufgebautes Nervensystem entsprechen. Bisher haben wir uns nun die Tatsachen viel einfacher vorgestellt als sie in Wirklichkeit sind, indem wir annahmen, daß auf einen Reiz hin ein Muskel den Befehl zur Tätigkeit erhält. Betrachten wir aber einen solchen Reflex, z. B. das Zusammenzucken auf den Knall hin, näher, so zeigt er sich wesentlich verwickelter. Da erhält nicht nur ein Muskel, sondern viele den Auftrag, sich zusammenzuziehen. Da wir aber schon wissen, daß eine scheinbar einfache Bewegung sich auf dem verwickelten Zusammenspiel zahlreicher Muskeln aufbaut, so bedeutet auch diese einfache Reflexbewegung gleichzeitig das Zusammenziehen gewisser, die Sperrung oder Erschlaffung anderer Muskeln, alles in bestimmter Anordnung und Reihenfolge, gar nicht von der Tätigkeit der Blutgefäßmuskeln zu reden, die Erbleichen und Herzklopfen bedingen. All dies besagt, daß die Übergabe des Befehls in den betreffenden Zellen eine recht verwickelte sein muß und daß viele Nervenzellen und bestimmt angeordnete Verbindungen zwischen ihnen nötig sind, um einen einzigen solchen Reflex hervorzurufen.

Aus dem soeben Gehörten können wir dann schon schließen, daß der erste Schritt in der Erforschung der Leistungen eines Nervensystems die genaue Kenntnis der möglichen Reflexe ist und es fällt nicht allzuschwer, sich vorzustellen, in welcher Weise die Wissenschaft da vorgeht. Wenn wir etwa bei einem Krebs seine Reflexleistungen untersuchen wollten, so müßten wir ihn zunächst genau beobachten, um zu sehen, welcher Leistungen er überhaupt fähig ist. Alle Stellungen, die er einnehmen kann, jede Bewegung, zu der er imstande ist, wäre zu verzeichnen. Dann würde man versuchen, all diese Tätigkeiten zwangsweise hervorzurufen. Angenommen, man hat beobachtet, daß der Krebs seine Fühlhörner in bestimmter Weise putzt. Um den dazu nötigen Reflexbogen zu finden, wird man vielleicht zunächst all seine Sinnesorgane künstlich reizen, um festzustellen, ob dadurch der Reflex ausgelöst wird. Um dabei ganz sicher zu gehen, wird man bei der Prüfung eines Sinnesorgans die Arbeit der anderen auf irgendeine Art ausschalten. So könnte man vielleicht feststellen, daß ein bestimmtes Tasthaar irgendwo am Körper gedrückt werden muß, um den Putzreflex auszulösen. Nunmehr wollen wir wissen, wie der zugehörige Reflexbogen verläuft. Da brauchen wir zunächst den empfindungsleitenden Nerv. Wir finden ihn einmal durch einen Durchschneidungsversuch; denn ist der richtige Nerv durchschnitten, so kann auf den Reiz der Reflex nicht erfolgen. Oder wir finden ihn durch einen Reizungsversuch, indem wir den Nerv direkt durch einen elektrischen Strom reizen; denn dann erfolgt der Reflex sofort, wenn der richtige Nerv getroffen ist, der Krebs muß sein Fühlhorn putzen, so wie eine Maschine laufen muß, wenn der richtige Hebel angedreht ist. Nunmehr wollen wir aber wissen, wo in dem Zentralorgan die zu dem Reflex gehörigen Befehlszellen liegen. Das wird in ganz entsprechender Weise entdeckt, indem so lange gesucht wird, bis die Zellgruppen gefunden sind, deren Entfernung den Reflex unmöglich macht und deren künstliche Reizung ihn hervorruft. Die tätigkeitsleitenden Nerven endlich sind meist ohne weiteres sichtbar, wenn man weiß, welche Muskeln in Arbeit versetzt werden. So kann man denn in ähnlicher Weise

versuchen, die verwickelten Handlungen der Tiere in eine Reihe von Reflexen aufzulösen.

6.

Ich ahne schon, welche Zwischenfrage der Leser jetzt stellen möchte. Aber noch ein bißchen Geduld. Erst wollen wir uns noch einige der interessantesten Reflexe betrachten, um nach diesen, etwas allgemeinen Betrachtungen wieder die Natur unmittelbar an der Arbeit zu sehen. Wir sprachen schon vorher von der großen Zweckmäßigkeit der meisten Reflexe — wir werden allerdings auch bald einen unzweckmäßigen kennenlernen —, die sie uns direkt als Schutzreflexe erscheinen läßt. Das Schließen der Augenlider hatten wir bereits als solchen kennengelernt. Ein anderer uns sehr geläufiger ist der Husten. Ein fremder Gegenstand, Staub, Speichel oder sonst etwas ist in die Luftröhre geraten und die dort befindlichen druckempfindenden Nervenenden lösen als Schutzreflex krampfhafte Zusammenziehungen der Atemmuskeln aus, wodurch mit Gewalt Luft aus der Lunge ausgestoßen wird, der Husten, der den schädlichen Fremdkörper herausschleudert.

Es ist dies aber gar nicht das erstemal, daß uns Schutzreflexe begegnen. Wir haben vielmehr schon des öfteren interessante Dinge von ihnen erzählt, ohne ihre Bedeutung als Reflexe zu erwähnen. Wir erinnern z. B. an die so nützliche Farbanpassung vieler Tiere an den Untergrund und die Versuche, die zeigten, daß die Augen für das Zustandekommen der Farbänderung notwendig sind. Das zeigt bereits, daß es sich hier um einen Schutzreflex handelt, und es fehlt auch nicht am vollständigen Beweis, nämlich dem Nachweis des ganzen Reflexbogens. Nun gibt es noch eine gar lustige Art von verwandtem Schutzreflex, den sich einige auf dem Meeresboden umherstolzierende Krabbenarten leisten. Sie besitzen nicht die Fähigkeit jener Fische, ihre eigene Hautfarbe zu ändern und sich so durch Anpassung an den jeweiligen Untergrund unsichtbar zu machen. Sie erreichen aber den gleichen Erfolg, indem sie sich — maskieren! Auf dem

Rücken dieser trolligen Gesellen finden sich Haare, die mit Haken versehen sind. Sitzt die Krabbe nun, sagen wir auf grünem Seetang, so schneidet sie einige Blätter davon ab und hängt sie mit Hilfe ihrer Scherenfüße so an den Häkchen auf, daß sie schließlich vollständig mit grünen Blättern bekleidet ist, wie der Held Odysseus, als er sich der schönen Nausikaa näherte. Lebt die Krabbe auf Rot- oder Brauntang, so zieht sie sich natürlich ein Maskenkleid solcher Farbe an.

Wie dieser Reflex arbeitet, wurde nun auf folgende Art festgestellt: die unmaskierten Krabben wurden in ein Glasgefäß gesetzt, das mit farbigem Papier ausgelegt war, etwa rotem. Dann wurden Papierstücke verschiedener Farben hineingeworfen und alsbald suchten sich die Krabben daraus die roten aus und bekleideten sich damit! Ebenso mit anderen Farben, wenn andersfarbiger Untergrund benutzt wurde. Wurde nun eine Glaswanne halb mit gelbem, halb mit blauem Papier ausgekleidet und Krabben hineingesetzt, die sich vorher teils gelb, teils blau bekleidet hatten, so wandelten alsbald die gelben „Maschkerer" auf die gelbe, die blauen auf die blaue Seite und blieben dort. Nun könnte man hier einwenden, daß der letzte Versuch doch zeige, daß gar nicht ein einfacher, zwangsweise verlaufender Reflex vorliegt. Denn das Tier müsse doch irgendwie „gewußt" haben, in welcher Farbe es maskiert war. Dieser Einwand läßt sich aber widerlegen, indem einige Tiere in gelbe, andere in blaue Wannen gebracht werden und eine Zeitlang dort bleiben, aber ohne Papier zum Maskieren zu erhalten. Werden sie dann in eine zweifarbige Wanne gebracht, so setzt sich ein jedes wieder auf die Farbe seines früheren Aufenthaltsortes. Also nicht die Maskierung bestimmt die Auswahl des Grundes, auf den es sich setzt, sondern die Einwirkung der Farbe der vorherigen Umgebung. Bei der Maskierung arbeiten somit zwei Reflexe zusammen: einer, der die Beine der Krabbe so in Bewegung setzt, daß sie von einer anderen Farbe als der, die eine Zeitlang auf sie eingewirkt hatte, wegläuft und ein zweiter, der die Krabbe sich mit Teilen der Umgebung maskieren läßt.

Nicht minder merkwürdig ist ein anderer Schutzreflex, der

uns auch schon früher begegnete. Als wir von der sonderbaren Fähigkeit des Körpers hörten, verlorengegangene Teile wieder nachwachsen zu lassen, erwähnten wir auch die Fähigkeit mancher Krebse und Insekten, sich selbst zu verstümmeln, also ein Bein einfach wegzuwerfen, wenn es von einem Feind gepackt wird. Wir erwähnten auch, daß an solchen Beinen die Stelle, an der es abgeworfen wird, bereits vorgebildet ist. Nun könnte man etwa glauben, daß das eine dünne Stelle ist, an der das Bein einfach abbricht, wenn es angepackt wird. Das ist aber gar nicht der Fall! Vielmehr handelt es sich auch hier um einen Reflex, dessen nervösen Reflexbogen man genau feststellen kann. Zunächst ist zu zeigen, daß das Abbrechen nicht einfach ein Herausreißen von seiten des Feindes ist. Das geht daraus hervor, daß das Bein eines toten Tieres solcher Sorte, an dem fest gezogen wird, stets an einer anderen als der vorgebildeten Selbstverstümmelungsstelle reißt. Auch das lebende Bein vermag, wenn es nicht gedrückt wird, das Gewicht des ganzen Tieres zu tragen. Sobald es aber gedrückt wird, bricht es an der vorgebildeten Stelle ab. Der Druck ist also der Reiz, der den Reflex auslöst. Und nun ließen sich auch in der Tat die drei Teile des Reflexbogens feststellen. Da ist erstens der von den druckempfindlichen Sinneszellen am Bein ausgehende Sinnesnerv; auch seine elektrische Reizung führt zum Abwerfen des Beines. Da sind die Nervenzellen im Zentralorgan als zweiter Teil; werden sie elektrisch gereizt, so folgt ebenfalls die Selbstverstümmelung, werden sie entfernt, so ist der Reflex nicht mehr möglich. Dann haben wir den dritten Teil, den tätigkeitsleitenden Nerv, der einen Muskel in Bewegung setzt, dessen heftige Zusammenziehung das Bein wegbricht. Ist dieser Nerv durchschnitten, so kann auch das Abbrechen nicht erfolgen, ebensowenig, wie wenn der betreffende Muskel zerstört ist. In einem Lichtspieltheater sah ich einmal ein humoristisches Bild, in dem eine Figur auftrat, die nacheinander beide Arme und Beine wegwarf; dann kamen sie plötzlich wieder angeflogen und setzten sich an der richtigen Stelle ein. Wohl nur wenige der lachenden Zuschauer dürften geahnt haben, daß der Scherz nahezu bei manchen Lebe-

wesen verwirklicht ist. Denn auch der Krabbe, die freiwillig ihre Beine wegwirft, fliegen sie zwar nicht wieder zu, aber sie können bei der nächsten Häutung nachwachsen.

Nun wollen wir zum Schluß noch unser Versprechen erfüllen und nach den zweckmäßigen Reflexen, auf deren Vorhandensein in beträchtlichem Maße die Lebensfähigkeit der Tiere beruht — sind doch auch die Schluckbewegungen, Atembewegungen, Darmbewegungen Reflexe, wenn auch etwas anderer Art — auch einen gleichgültigen und einen höchst unzweckmäßigen nennen. Den gleichgültigen kann ein jeder an sich selbst beobachten. Man schlage die Knie übereinander und klopfe sich direkt unter der Kniescheibe aufs Knie. Alsbald zuckt der Unterschenkel nach vorn, ein Reflex, der wohl für den Menschen von keinerlei Vorteil ist, es sei denn für den Arzt, der daraus allerlei Schlüsse über den Zustand bestimmter Nervenfäden ziehen kann. Der unzweckmäßige Reflex aber ist mit einer der absonderlichsten Erscheinungen im Tierreich verbunden. Da leben im Meer nicht eben schöne, gurkenförmige Wesen, die zu der nächsten Gevatterschaft der zierlichen Seesterne und stacheligen Seeigel gehören. Sie werden Seegurken genannt. Einige Arten von ihnen nun antworten auf gewisse starke Reizungen, z. B. Atemnot damit, daß sie ihren ganzen Kopfteil durch eine starke Muskelzusammenziehung abwerfen und dann aus dem Loch ihre ganzen Eingeweide ausspucken. Das sieht wie Selbstmord aus, aber weit gefehlt! Nach ein paar Wochen ist alles Verlorene wieder nachgewachsen. Das konnte sogar die Marionette im Lichtspiel nicht, übrigens zum Glück für die Ekelreflexe der Zuschauer.

Nun wird sich wohl der verehrte Leser nicht mehr länger halten lassen, die bisher unterdrückte Frage zu stellen: Also wir sollen wirklich glauben, daß all die verwickelten Handlungen der Tiere um uns herum nur wie die Tätigkeit einer Maschine ablaufen, deren Hebel gedrückt wird? Wir wollen gar nicht von Pferd und Hund sprechen, von Storch und Schwalbe, von der mäusejagenden Schlange oder dem fliegenschnappenden Frosch. Aber die Biene, die den Honig sammelt, ihre Königin füttert und Waben baut, die Ameise, die

sorgfältig ihren Nachwuchs aufzieht, Sklaven einfängt und ihr kunstvolles Nest baut, Blattläuse wie Milchkühe melkt und sich Pilze in eigens gedüngten Gärten wie Gemüse zieht; die Spinne, die ihr prächtiges Netz webt, die Raupe, die ihr Puppengehäuse spinnt, die Weinbergschnecke, die eine schöne Höhle gräbt, in die sie ihre Eier legt, der Blutegel, der sich auf den vorbeischwimmenden Fisch stürzt, sein Blut zu saugen, und der Regenwurm, der sich vor unserem Tritt in sein Erdloch zurückzieht: sind das wirklich alles Reflexmaschinen, haben sie alle kein Bewußtsein, keinen Willen, keine Seele? Oder drücken wir uns etwas bescheidener aus: sind sie bloße Reflexmaschinen wie ein Automat oder können sie auch ihre Erfahrungen machen und dementsprechend lernen ihre Tätigkeit zu ändern, selbständig handeln? Da müssen wir uns zunächst über eines klar werden: von Willen, bewußten Handlungen, Gefühlen, Empfindungen können wir natürlich nur bei uns selbst mit Sicherheit reden. Wir können sie wohl den Tieren andichten, können auch aus dieser oder jener Beobachtung den Glauben ableiten, daß sie etwas Derartiges besitzen, aber wir können es als Naturforscher nicht beweisen.

Wir können allerdings Versuche anstellen, ob ein Tier imstande ist, Erfahrungen zu machen, zu lernen. Man kann etwa einen Krebs oder Frosch in einen Irrgarten setzen und sehen, ob er es erlernt, sich ohne Umweg herauszufinden; tatsächlich lernt er es. Man kann zeigen, daß eine Biene sich das Bild ihrer Umgebung einprägt und danach ihren Weg findet. Daraus kann man dann schließen, daß solchen Tieren außer ihrer Reflextätigkeit auch noch höhere, sagen wir Seelentätigkeiten zukommen. Viel weiter wird aber der vorsichtige Naturforscher nicht gehen, ja sogar davor warnen müssen, tierische Tätigkeiten so zu beschreiben, als ob ihnen menschliche Empfindungen unterlägen. Das hindert aber nicht, daß wir es für möglich halten, daß eine vergleichende Seelenlehre bei manchen Tiergruppen eine höhere Nerventätigkeit nachweist, die der unseren mehr oder weniger gleicht. Das ist bei solchen Tieren zu erwarten, die in ihrem Nervensystem Teile besitzen, von denen wir wissen, daß die entsprechenden Teile bei uns der Sitz der höheren Nerven-

tätigkeiten sind, vor allem ein Großhirn. Das aber veranlaßt uns, anstatt Fragen nachzuhängen, deren Beantwortung einer anderen Wissenschaft, der Psychologie, überlassen werden muß, lieber noch einen Blick auf jene so oft genannten nervösen Zentralorgane zu werfen, die die sichtbare Wohnstätte für die einfachsten Reflexe und die höchsten Seelenleistungen darstellen.

7.

Haben eigentlich alle Tiere ein Nervensystem? Merkwürdigerweise nicht. Ganz unten an den Wurzeln des tierischen Stammbaumes gibt es eine Gruppe von Lebewesen, die wir gewohnt sind als Einzellige zu bezeichnen, weil ihr aus Zellleib und Kern zusammengesetzter Körper noch keine Andeutung einer Gliederung in mehrere Zellen zeigt. Die bekanntesten von ihnen sind die Amöbe, die, fortgesetzt ihre Gestalt wechselnd, im Wassertropfen umherkriecht und die Aufgußtierchen, deren Zierlichkeit seit Jahrhunderten die Freude des Mikroskopikers sind. In ihrem einfachen Leib finden sich aber noch keine Andeutungen eines Nervensystems. Die Glücklichen! mag vielleicht jetzt ein nervöser Leser denken, keine Nerven zu besitzen. Er braucht aber nicht neidisch zu sein, denn auch ohne Nerven sind die Tierchen nervös. Im Wassertropfen unter unserem Mikroskop sitzt ein solches Tierchen, das seiner Gestalt wegen das Trompetentierchen heißt. Jetzt erschüttern wir den Tropfen durch einen Schlag auf die Tischplatte und blitzähnlich zieht sich die langgestreckte Trompete zu einer Kugel zusammen (Abb. 70). Auf den Reiz wurde also mit einer Bewegung geantwortet. Nun erinnern wir uns, daß das auch Pflanzen, die gar kein Nervensystem besitzen, vermögen. Sicher habt ihr schon einmal eine Sinnpflanze oder Mimose gesehen, deren zarte Fiederblättchen sich auf einen Berührungsreiz hin sofort falten und umlegen. Es gibt also auch eine Reizleitung ohne Nerven innerhalb des lebenden Zelleibs. Wenn wir wollen, können wir sie als die einfachste und unvollkommenste Form der Beziehungen eines Lebewesens zur Außenwelt betrachten. Es gibt außer jenen Einzelligen nur noch eine einzige Tier-

gruppe, die auf so niederer Stufe steht, daß noch kein Nervensystem vorhanden ist; das sind die Schwämme, jene merkwürdigen, am Meeresgrunde wachsenden, äußerlich so wenig tierähnlichen Gebilde, deren getrocknete Hartteile wir zum Waschen benutzen.

Allen anderen Tieren aber kommt ein Nervensystem zu mit Sinnesorganen, Nervenzellen und Nervenfäden. Nicht bei allen

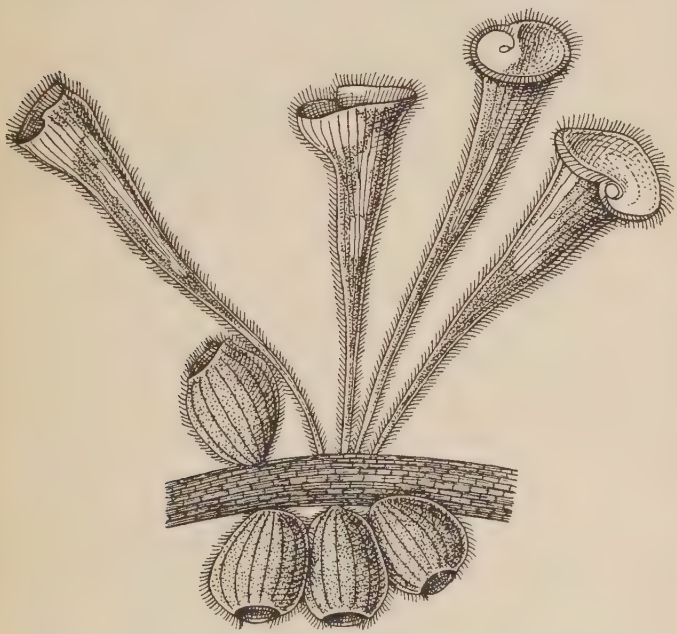


Abb. 70. Trompetentierchen auf einem Stengel sitzend, teils ausgestreckt, teils zusammengezogen.

ist es aber schon genau so ausgebildet, wie wir es bisher als allgemeingültig annahmen. Wir sprachen stets von einem Nervenzentrum, das wir einem Telephonamt verglichen, in das die reizempfangenden Drähte einmünden und von dem die befehlleitenden Drähte ausstrahlen. Bei einer ganzen Gruppe von einfacheren Tieren, zu denen die in dem Weltmeer segelnden Quallen, die in keinem Aquarium fehlenden Seeanemonen und die bunten Korallentiere gehören, gibt es aber

noch kein Zentralorgan. Das Nervensystem besteht da aus einem Netzwerk von Nervenfäden mit eingestreuten Nervenzellen, in dem sich nichts von den so oft genannten Teilen scharf unterscheiden läßt (Abb. 71). Man könnte das einem Telephonnetz ohne Zentrale vergleichen, in dem es überall klingelt, wenn einer anläutet und jedes Gespräch überall gehört wird. Dabei haben aber manche dieser Tiere recht verwickelte Sinnesorgane; gibt es doch Quallen, deren Augen

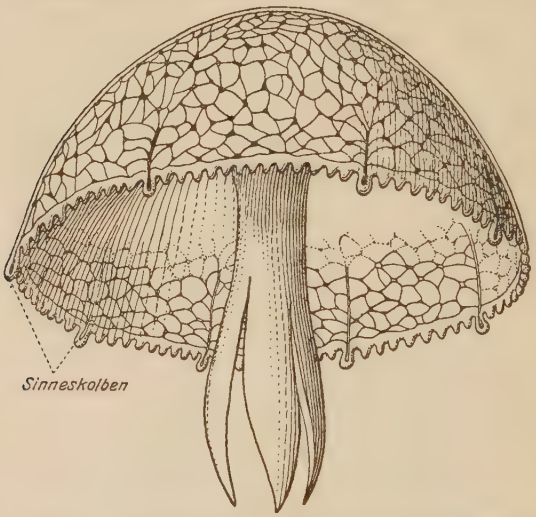


Abb. 71. Das Nervennetz dicht unter der Oberfläche des Schirmes einer Qualle.

nicht viel anders gebaut sind, als unsere. Mit einem solchen Nervensystem können begreiflicherweise nicht viele verschiedene Leistungen erzielt werden, und die Zahl der möglichen Reflexe muß eine sehr bescheidene sein.

Alle anderen Tiere aber besitzen richtige nervöse Zentralorgane, Anhäufungen von Nervenzellen mit dem sie verbindenden Fasergewirr, umgeben von Schutzzellen, die das Ganze zusammenhalten und festigen. Diese Organe zeigen, wie zu erwarten, eine aufsteigende Reihe der Vervollkommnung, entsprechend der Mannigfaltigkeit der Reflex- und Sinnesleistungen. Sie gliedern sich dann, wenn sie umfang-

reicher werden, in einzelne Nervenknötchen, die in der Nähe der zugehörigen Sinnesorgane und Muskeln liegen. Da sich aber die wichtigsten Sinnesorgane meist am Kopf finden, so liegt auch der wichtigste Nervenknoten im Kopf, dessen Anwesenheit somit für alle verwickelteren Reflexe nötig ist. Diesen Knoten nennen wir sodann das Gehirn. Etwas Derartiges fanden wir bereits beim Spulwurm. Ein Regenwurm hat schon ein recht verwickeltes Gehirn, das mit einer Kette weiterer Nervenknötchen verbunden ist, die sich der Bauchseite des Tieres entlang ziehen (Abb. 72). Fast genau so sieht äußerlich das Zentralnervensystem bei allen Krebsen und Insekten aus (Abb. 73); aber der innere Bau wird von Stufe zu Stufe verwickelter. Wie das mit der Mannigfaltigkeit der Reflexleistungen zusammenhängt, kann man besonders schön

Abb. 72. Darstellung des Nervensystems eines Gliederwurmes mit dem Gehirn *c*, der Kette der Bauchnervenknoten *b*.

an Ameisen und Bienen erkennen. Jedermann weiß, daß es in deren Staat drei Arten von Tieren gibt: die Königin, deren einziges Geschäft das Eierlegen ist; die Männchen, bei den Bienen Drohnen genannt, die nur leben, um die Königin auf dem Hochzeitsflug zu befruchten, und die Arbeiter genannten, zeugungsunfähigen Weibchen, deren verwickelte Tätigkeiten den ganzen Stock erhalten. Untersucht man das Gehirn dieser drei Formen, so zeigt sich, wie erwartet, daß das Gehirn der Arbeiter viel größer und verwickelter aufgebaut ist als das der anderen Stände (Abb. 74). Wir werden schließlich nicht erstaunt sein, bei den Weichtieren neben anderen Nervenknötchen ein Gehirn zu finden und bei den höchsten und leistungsfähigsten unter ihnen, den Tintenfischen oder Kraken, ein Gehirn anzutreffen, das in seinem verwickelten Bau von ferne unserem gleicht.

Wie es mit all dem bei unseren näheren Vettern, den Wirbeltieren, steht, ist wohl allgemein bekannt. Sorgfältig in der schützenden Schädelkapsel eingeschlossen liegt der Haupt-

teil, das Gehirn, und durch die Wirbelsäule geschützt, im Rückenkanal, das Rückenmark (Abb. 75). Eine Unmenge von Reflexen können allein durch das Rückenmark verlaufen,

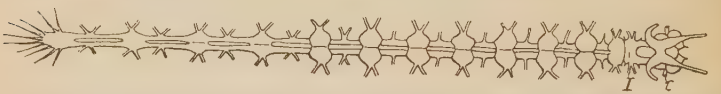


Abb. 73a. Das herauspräparierte Zentralnervensystem eines Flohkrebses. *c* Gehirn, *I* der erste Nervenknoten der Bauchkette.

ohne das Gehirn zu berühren. Dagegen ist ein Teil des Gehirns wohl der ausschließliche Sitz all der höheren Nerventätigkeit, die wir als das Seelenleben bezeichnen. Dieser wichtigste Hirnteil ist das Großhirn, das allerdings in seinem entscheidenden Teil den Fischen noch ganz fehlt, bei Amphibien und Reptilien nur mäßig entwickelt ist und eigentlich erst bei den Vögeln seinen Namen richtig verdient. Bei den Säugetieren aber und ihrer höchsten Entwicklungsstufe, dem Menschen, nimmt es einen so gewaltigen Umfang an, daß dagegen alle anderen Teile verschwinden (Abb. 76). Von hier aus wird dann das verwickelte Spiel von Reflexen und Handlungen regiert. Zum Zustandekommen der gewöhnlichen Reflexe ist das Großhirn übrigens nicht nötig. Ein jeder kennt die schöne Anekdote von dem Mann in Amerika, der sein Gehirn dem Arzt zum Ausputzen übergeben hatte. Als er es nach mehreren Monaten noch nicht abgeholt hatte, forderte der Arzt

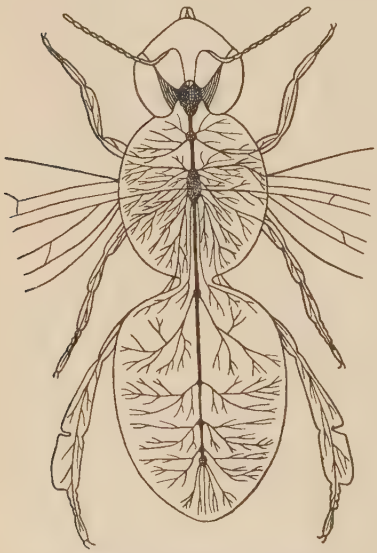


Abb. 73b. Darstellung des Nervensystems eines Insektes mit dem Gehirn und den im Körper liegenden Nervenknötchen, nebst den davon ausstrahlenden Nerven.

ihn auf, doch zu kommen und es sich wieder einsetzen zu lassen, worauf er die Antwort erhielt: „Danke, ich brauche es nicht mehr, ich bin zum Senator gewählt worden."

Der Scherz hat neben seiner Bosheit eine ganz richtige Grundlage. Für ein Leben ohne höhere

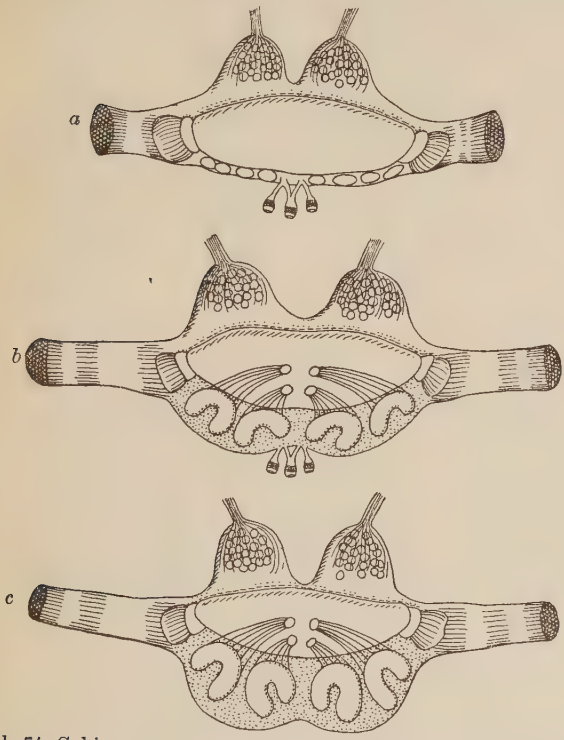


Abb. 74. Gehirne von Ameisen. *a* Männchen, *b* Weibchen, *c* Arbeiter.

Seelentätigkeit, also ein maschinenmäßiges Reflexleben, ist das Großhirn überflüssig. Das kann allein durch die übrigen Gehirnteile und das Rückenmark besorgt werden. Tatsächlich hat man Hunde, Tauben, Frösche ohne Großhirn lange Zeit am Leben gehalten. Ob man allerdings einen großhirnlosen Menschen noch als solchen anerkennen könnte?

Abb. 75. Gehirn und Rückenmark einer Schildkröte. *v* Großhirn, *m* Mittelhirn, *k* Kleinhirn.

Auch vor diesem rätselhaftesten aller Organe macht die rastlose Forschung nicht halt und gar vieles hat es schon von seinen Geheimnissen gestehen müssen, wo die Zellen liegen, die für die Fähigkeit der Sprache oder des Bildersehens oder des Gedächtnisses verantwortlich sind und wie

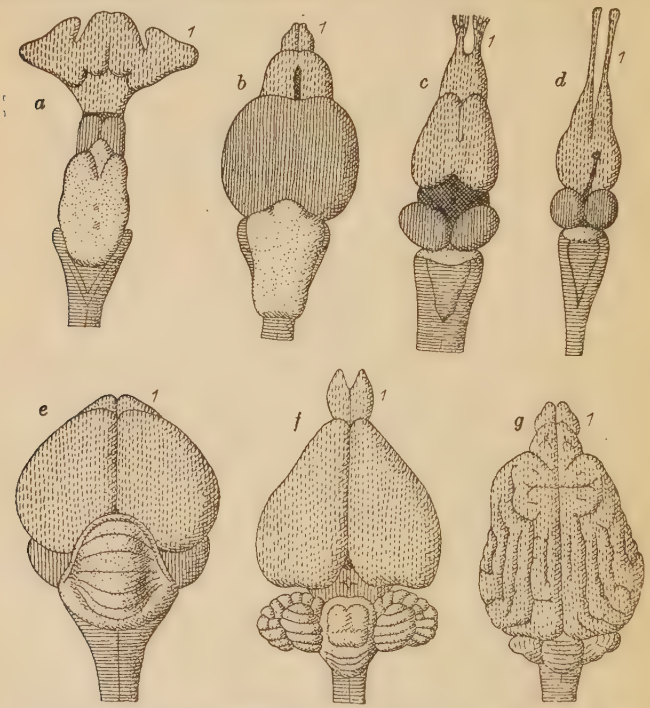


Abb. 76. Gehirne verschiedener Wirbeltiere mit gleicher Schraffierung entsprechender Teile. *a* Haifisch, *b* Lachs, *c* Frosch, *d* Reptil, *e* Taube, *f* Kaninchen, *g* Hund. — Gestrichelt das Großhirn mit den Riechlappen (*1*), punktiert das Kleinhirn, senkrecht schraffiert das Mittelhirn, wagrecht schraffiert das Nachhirn.

Hunderte von wichtigen Drahtleitungen laufen. Fleißige Hände und Köpfe suchen auf alle möglichen verwickelten Weisen weitere Antworten zu erzwingen. Und doch, wenn man auszudenken versucht, wie irgendwo in diesen Zellen der Faust, die fünfte Symphonie oder die Sixtinische Kapelle entstand, möchte man da nicht an seiner Wissenschaft verzweifeln?